GINESTRA AMALDI

QUESTO MONDO GRANDE E TERRIBILE

VENTIQUATTRO TAVOLE FUORI TESTO
157 illustrazioni nel testo di Aldo Matteotti

A G

GARZANTI

Amaldi G. Questo mondo grande e terribile

LIBRO I

L'Universo

Introduzione

Se in un processo l'accusato si rifiuta di parlare, i giudici si trovano in un bell'imbarazzo; e il poliziotto di gran classe può dimostrare allora tutta la sua abilità: con pochi indizi che erano sfuggiti a tutti — un mozzicone di sigaretta, un neo sul collo dello spazzino, il colore dei capelli della figlia del portiere — in quattro e quattr'otto egli riesce a dimostrare tutto: l'innocenza dell'accusato, la colpa del più rispettabile dei giudici, che egli dimostra essere il padre dell'accusato, l'amore della figlia del portiere, la complicità dello spazzino. I giudici e il poliziotto si erano trovati di fronte agli stessi indizi: il poliziotto ha osservato e ha ragionato, i giudici avevano occhi e non vedevano.

Dinanzi a noi il cielo sta come un accusato che non parla e noi abbiamo occhi e non vediamo; ma c'è un uomo, l'astronomo, il quale raccoglie i pochi indizi che sfuggono agli altri, osserva e ragiona. E poco per volta il mistero si svela.

IL SISTEMA PLANETARIO

Il Sole

Le dimensioni del Sole

Dunque il sistema planetario è una vera famiglia modello, Il padre, il Sole, sta fermo sorvegliando i figlioli, i pianeti; questi, quale più grande, quale più piccolo, gli stanno intorno (anzi gli girano intorno) con un ammirevole spirito di obbedienza: mai nessuno cerca di allontanarsi, mai nessuno cerca di usurpare il posto di qualche fratello che possa sembrargli più fortunato o perché sta più vicino al padre-Sole, e quindi più caldo, o più lontano e quindi più freddo ma almeno un po' più libero. Ogni pianeta continua, invece, a girare intorno al Sole sempre sulla sua strada ben fissa; ogni pianeta, cioè, percorre sempre la stessa *orbita* intorno al Sole.

E ognuno di questi figli è, a sua volta, padre di famiglia; e ognuno di essi vede che i propri figli gli dimostrano quella stessa obbedienza che egli mostra per il proprio padre; infatti ogni pianeta vede i propri *satelliti* ruotargli intorno con regolare continuità.

Non tutti i pianeti hanno lo stesso numero di satelliti. Qualcuno non ne ha affatto: la Terra ne ha uno solo, la Luna; qualcuno poi ne ha diversi. E vi è anche un pianeta che si chiama Saturno, che ha un figliolino un po' strano, anzi così strano che per molti anni gli astronomi della Terra cercarono di aguzzare quanto più potevano il loro sguardo (o, per meglio dire, cercarono di migliorare quanto più potevano i loro cannocchiali) per poter stabilire, tra l'altro, che cosa fosse quella cosa strana che intravedevano intorno a Saturno. E ci riuscirono: figuratevi che... Ma no; vi prego di rimanere un pochino di tempo in curiosità: descriverò questo strano figliolino di Saturno tra breve, quando sarà giunto il momento.

Gli astronomi ebbero bisogno di molta pazienza e di molta perseveranza per raggiungere il loro scopo; veramente essi hanno sempre bisogno di pazienza e di perseveranza, sia quando sono al cannocchiale sia quando sono al tavolino. E non soltanto gli astronomi ma tutti gli scienziati hanno bisogno di pazienza e di perseveranza: cioè insistere, insistere... non per un'ora nè per un giorno, ma per mesi, per anni; lavorando intorno allo stesso problema, ricominciando da capo quando già si sperava di essere alla fine; pazienza e perseveranza.

La persona più importante della famiglia planetaria è, naturalmente, il Sole. Io ora scriverò quale è, in chilometri, il raggio del Sole e poi, man mano che se ne presenterà l'occasione, scriverò il valore del raggio della Terra, poi quello degli altri pianeti; scriverò poi, sempre in chilometri, la distanza tra il Sole e la Terra, tra il Sole e gli altri pianeti, tra la Terra e la Luna. Ma ascoltate un consiglio suggeritomi dalla mia esperienza personale: non imparate questi numeri; leggeteli una o due volte, meravigliatevi della loro grandezza, magari fateci su qualche calcolo, ma non imparateli perchè, nella stragrande maggioranza dei casi, sarebbe perfettamente inutile; li ricordereste per una settimana o per un mese, ma se tra un anno vorrete dire a qualcuno il diametro del Sole in chilometri sarete costretti ad andare prima a cercarlo nuovamente su un libro.

Imparate soltanto il *raggio della Terra* che è di circa *seimila chilometri;* farò poi alcuni esempi perchè possiate rendervi conto

RAGGIO DEL SOLE:
700.000 Km.
RAGGIO DELLA TERRA: 6000 Km.
TERRA

delle *proporzioni* delle diverse grandezze astronomiche; dirò, per esempio, quante volte il Sole è più lontano dalla Terra di quanto ne sia lontana la Luna, quante volte il Sole è più grande della Terra e così via. Credo che in questo modo sarà più facile rappresentarsi il sistema planetario nelle sue proporzioni.

Mentre la Terra ha un raggio di circa 6000 chilometri, il raggio del Sole è di 700.000 chilometri. Cioè se rappresentiamo il Sole come una sfera che abbia mezzo metro di raggio, la nostra Terra sarà, in proporzione, grande come un pisello: niente altro che un pisello...

La densità del Sole

Il Sole però è meno denso della Terra. Credo che, grossolanamente, tutti sappiano che cosa voglia dire *densità* di una sostanza; tutti sanno che l'aria è meno densa dell'acqua, che il sughero è meno denso del ferro, eccetera.

In generale, la densità di una sostanza è la quantità di materia, in grammi, cioè la massa della sostanza, che è contenuta in un centimetro cubo. Per esempio, quando dico che la densità dell'acqua del mare è 1,025, che la densità del ferro è 7,88 e che quella dell'olio d'oliva è 0,92, intendo dire che un centimetro cubo di acqua di mare pesa grammi 1,025, un centimetro cubo di ferro pesa grammi 7,88 e un centimetro

cubo di olio di oliva pesa 0,92 grammi. Per sapere, dunque, la densità di una qualsiasi sostanza si trova, pesandola, la massa di una certa quantità di questa sostanza espressa in grammi e poi la si divide per il suo volume.

Questa chiacchierata sulla densità era necessaria perchè è proprio inutile continuare a parlare di una cosa senza sapere esattamente di che cosa si tratti. Sapere che cosa è una grandezza vuol dire saperla definire e sapere come si misura.

Per trovare la densità della Terra, divideremo dunque la sua massa, misurata in grammi, per il suo volume, misurato in centimetri cubici. Ma per quanto la nostra Terra non sia più grande di un pisello, pure essa è per noi un po' troppo grande per poter pensare di determinare la sua massa ponendola su una bilancia con tutti i suoi mari, le sue montagne, i suoi ghiacciai e i suoi fiumi. Ma gli scienziati, con l'aiuto delle osservazioni degli astronomi, delle esperienze dei fisici e con l'aiuto di molta matematica, seduti al tavolino, hanno risolto questo problema che a noi sembra insolubile: e ci dicono che la massa della Terra è di 6 sestilioni di chilogrammi (cioè un 6 seguito da 24 zeri). Per un pisello non c'è male.

QUESTO PISELLO PESA:
● 6.000.000.000.000.000.000.000.000 DI Kg.

Il volume della Terra si calcola facilmente sapendo che essa è una sfera il cui raggio misura esattamente 6366 chilometri; quindi il suo volume in chilometri cubi sarà dato dal prodotto $4/3 \times 3,14 \times 6366^3$. Si riduce la massa in grammi e il volume in centimetri cubici, si divide l'uno per l'altro e finalmente si ha la densità della Terra. E si trova così che la *densità della Terra è 5,5*; cioè la densità della Terra è cinque volte e mezzo quella dell'acqua. Escludendo Plutone, la Terra è il pianeta che ha una densità maggiore.

Analogamente si procede per conoscere la densità del Sole. Si trova che esso è *quattro volte meno denso della Terra*; infatti la sua densità è 1,39.

La temperatura del Sole

L'idea di chiedersi quale sia la temperatura del Sole, cioè di un corpo che si trova lontano da noi la bellezza di 149 milioni di chilometri, può sembrare molto bizzarra. Come faremo a misurare questa temperatura? Certamente non possiamo fare una corsa fino al Sole con un termometro in tasca nè possiamo incaricarne un amico compiacente. Ma, pensando bene, vediamo che c'è qualcuno che tutti i giorni fa continuamente questo lungo viaggio di 149 milioni di chilometri dal Sole fino a noi; ma sì, via, lo conoscete tutti benissimo: questo qualcuno è *la luce*.

Di quanti messaggi giunge carica questa luce! Naturalmente sono messaggi un po' misteriosi; ma imparando a leggerli, si riesce a sapere le cose più intime del Sole, il quale, forse, per essere stato posto a così rispettabile distanza, sperava di essere al sicuro da ogni nostra indiscrezione.

Dunque vediamo, un po' all'ingrosso, come si fa a leggere quel particolare messaggio che la luce ci porta dal Sole nel quale si parla della temperatura che c'è lassù; questo messaggio, decifrato, ci dirà che la temperatura del Sole alla superficie è, nientedimeno, di 6000 gradi.

Avete mai visto come gradatamente cambia di colore un pezzo di ferro che un fabbro pone su un fornello acceso? Prima il ferro comincia appena appena ad arrossarsi, poi assume un colore rosso cupo che, man mano che il ferro si riscalda, diventa rosso ciliegia, poi rosso vivo, poi arancione... Se misuriamo la temperatura del ferro, vediamo che quando esso comincia appena ad arrossarsi, la temperatura è di 500 gradi, quando è rosso cupo, il ferro è a 700 gradi, e così via: il rosso ciliegia corrisponde a circa 850 gradi, il rosso vivo a 1000 gradi, l'arancione a 1200 gradi... In modo che quando vediamo che un pezzo di ferro riscaldato è, per esempio, di colore rosso vivo, possiamo senz'altro dire: quel pezzo di ferro ha ora la temperatura di circa 1000 gradi.

Quindi, come avrete già capito, il colore del Sole ci dice la sua temperatura. Ma quale è il colore del Sole? Poichè guar-

dando a occhio nudo si riesce soltanto a rimanere abbagliati, prendiamo un piccolo, prodigioso apparecchio che si trova in qualsiasi laboratorio di fisica o di chimica o in qualsiasi osservatorio; prendiamo cioè uno *spettroscopio* e facciamo cadere sulla sua fenditura di entrata un raggio di Sole; poniamo l'occhio al suo foro di uscita e guardiamo. Vediamo una bella striscia di colori: rosso, arancione, giallo, verde, azzurro, indaco e violetto... Che cosa sono tutti questi colori? Se da una parte abbiamo fatto entrare soltanto il raggio di luce solare e dall'altra vediamo questi sette colori, vuol dire, evidentemente, che questi sette colori erano già in quel raggio di luce.

La luce solare contiene mescolati tutti i colori e al nostro occhio appare biancastra; ma lo spettroscopio è uno strumento capace di separare i colori che erano già contenuti nel raggio di luce; ecco perchè da una parte entra un raggio che a noi *sembra* di un solo colore e dall'altra i vari colori che lo compongono ci appaiono in fila in bell'ordine.

Del resto, se lo spettroscopio è per molti un apparecchio nuovo, credo che infinite volte sarà capitato a tutti di vedere la striscia dei sette colori: quando un raggio di Sole, entrando in una stanza, batte sulla smussatura di uno specchio, ecco formarsi la striscia colorata sul soffitto o su una parete; in questo caso lo specchio funziona proprio come lo spettroscopio perchè esso suddivide la luce del Sole nei colori che la compongono. E l'arcobaleno che appare nel cielo dopo un temporale? In questo caso sono le goccioline di acqua rimaste sospese nell'aria dopo l'acquazzone che funzionano come lo spettroscopio e come la smussatura dello specchio; i raggi del Sole passano attraverso queste goccioline, si suddividono nei vari colori di cui erano costituiti ed ecco formarsi quella magnifica striscia variamente colorata che abbraccia tutto il cielo.

I fisici hanno chiamato *spettro* la striscia colorata formata dai colori che compongono una certa luce; vi devo confessare che non ne so il perchè. In tutti i modi è uno spettro molto bello e allegro, che mi sembra non abbia nulla in comune con gli spettri spaventosi, quelli che si dice appaiano di notte, spaventando gli abitanti dei vecchi castelli.

Poichè la striscia colorata si chiama spettro, è naturale

che l'apparecchio che serve a produrla si chiami spettroscopio: dico questo perchè, se ci si rende conto della origine di questo nome, esso può sembrare un po' meno... ostrogoto.

Dunque, se facciamo cadere sulla fenditura di entrata di uno spettroscopio un raggio di Sole e applichiamo al foro di uscita l'occhio, vediamo nell'apparecchio lo spettro solare. Naturalmente se invece di un raggio di Sole facciamo cadere sullo spettroscopio un raggio luminoso di un'altra origine, per esempio un raggio di una lampadina elettrica, vedremo ancora uno spettro che sarà, però, diverso dallo spettro solare e che sarà lo spettro di quella lampada; si tratta sempre degli stessi colori messi nello stesso ordine: osservando però bene, si vedono tra i vari spettri nette differenze di grande importanza.

Prima però di metterci a osservare lo spettro solare, puntiamo il nostro spettroscopio su quel pezzo di ferro che il fabbro ha appena messo sul fornello acceso, mettiamo l'occhio al foro di uscita e guardiamo attentamente. Vediamo nell'apparecchio lo spettro del ferro rovente il quale è molto diverso dallo spettro del Sole; il fatto però che anche in questo spettro vediamo una striscia di vari colori, ci fa concludere che il ferro, riscaldato, emette una luce che è una mescolanza di diversi colori.

Già sappiamo che quando questo ferro viene riscaldato a una temperatura, per esempio, di 700 gradi, esso appare color rosso cupo: perchè? Guardiamo subito nello spettroscopio: vedremo che nel momento in cui il ferro appare all'occhio nudo color rosso cupo, nello spettro quella piccola zona che corrisponde al rosso cupo è più brillante delle altre; ciò significa semplicemente che il ferro, quando si trova alla temperatura di 700 gradi, continua a emettere una luce composta di tutti i vari colori; ma che esso emette una quantità di raggi color rosso cupo che è molto maggiore della quantità di raggi arancioni, gialli, ecc. Ecco perchè, nel suo complesso, la luce emessa è color rosso cupo.

Continuiamo a guardare nello spettroscopio; man mano che la temperatura del ferro aumenta, vediamo che, nello spettro, la intensità luminosa della zona del rosso cupo diminuisce mentre va diventando più brillante quella che le sta accanto

dalla parte destra: è quando il ferro ha raggiunto la temperatura di 850 gradi, la parte dello spettro che è più brillante delle altre è la piccola zona del rosso ciliegia; ciò significa che, quando è alla temperatura di 850 gradi, il ferro emette una luce che è una mescolanza dei vari colori; ma in questa luce i raggi color rosso ciliegia sono molto più abbondanti degli altri; ecco perchè, a occhio nudo, il ferro che si trovi alla temperatura di 850 gradi ci appare color rosso ciliegia.

Così man mano che il pezzo di ferro si riscalda e man mano che il suo colore passa al rosso vivo, all'arancione, eccetera, vediamo nello spettro diventare più brillante la zona del rosso vivo, poi dell'arancione, eccetera.

Immaginiamo ora di avere a che fare con un fabbro un po' strano e prepotente il quale ci dica: « Sì, vi permetto di puntare il vostro spettroscopio, a debita distanza, sul mio pezzo di ferro e vi permetto di starvene a guardare da quel buco tutte le vostre diavolerie; ma vi proibisco di guardare il mio pezzo di ferro a occhio nudo ». Stranezze! A noi, però, che vogliamo sapere la temperatura di quel ferro, questa stranezza non incomoda affatto; guardiamo attentamente il nostro spettro e vediamo che la zona più brillante è, per esempio, quella del rosso vivo: ne deduciamo che il ferro ha in quel momento la temperatura di 1000 gradi; così, senza esserci avvicinati e senza nemmeno aver guardato direttamente il pezzo di ferro, siamo riusciti a determinare la sua temperatura.

Possiamo così scrivere una tabella nella quale poniamo accanto a ogni colore la temperatura corrispondente, nel seguente modo:

rosso cupo	700 gradi
rosso ciliegia	850 »
rosso vivo	1000 »

Per mezzo di altri sistemi i fisici hanno completato questa tabella fino a portarla alle altissime temperature: eccone i punti principali:

rosso	500 gradi
rosso cupo	700 »

rosso ciliegia	800-900 gradi
rosso ciliegia vivo	1000 gradi
arancione cupo	1100 »
arancione vivo	1200 »
arancione pallido	3200 »
giallo carico	4600 »
giallo	5000 »
giallo pallido	5600 »
giallo biancastro carico	6200 »

E così di seguito fino alle altissime temperature di 12.000 e anche 14.000 gradi.

Abbiamo costruito questa tabella per il caso particolare del ferro; ma essa vale per qualsiasi sostanza solida che venga riscaldata: il suo colore dipende soltanto dalla sua temperatura.

Facciamo ora per il Sole la stessa cosa che abbiamo fatto in quell'officina poco ospitale: guardiamo attraverso lo spettroscopio e cerchiamo quale zona dello spettro ci appare più brillante; vediamo subito che il giallo pallido supera di intensità luminosa le altre zone. Guardiamo allora la nostra tabella e concludiamo: *la superficie del Sole ha una temperatura di circa seimila gradi.*

Vi è sembrata un po' lunga la strada percorsa per giungere a questo risultato? Ma quante cose vi ho raccontato in queste poche pagine: che cosa è uno spettro, che cosa è uno spettroscopio e come si usa, come si misura la temperatura di un qualsiasi corpo incandescente sia esso un pezzo di ferro o il Sole o una qualsiasi stella; vi ho condotto prima in un'officina sonante e poi dinanzi all'abbagliante Sole e siamo passati dallo spettacolo gioioso del lavoro dell'uomo alla contemplazione della bellezza della Natura...

Lo spettroscopio è soltanto uno strumento e le temperature sono numeri... Ma perchè pensare che gli strumenti e i numeri siano soltanto aride descrizioni ed elenchi quando possiamo sentire palpitare in essi la vita e la bellezza?

Ma la luce che ci porta così utili messaggi proviene dalla *superficie* del Sole; perciò questi messaggi ci porteranno in generale soltanto notizie di questa parte esterna. Ecco perchè abbiamo detto che la superficie del Sole ha una temperatura

di 6000 gradi. Ebbene, non vi viene la curiosità di sapere quale sia la temperatura interna di questo grande forno la cui parete esterna raggiunge i 6000 gradi?

Agli astronomi questa curiosità è venuta subito. La curiosità è una grandissima virtù; non dico che qualche volta non possa essere meschina e anche stupida; ma, in generale, è essa che ci spinge a cercare di sapere di più, a guardarci intorno, a chiederci il perchè e il come delle cose; è essa che ci spinge fuori dal nostro buco dove altrimenti staremmo a vegetare contenti del poco o del nulla che sappiamo.

Dunque gli astronomi furono punti dalla curiosità di conoscere la temperatura interna del Sole e delle altre stelle; e in breve questa curiosità divenne così ardente che essi mobilitarono la fisica, la matematica, le affiancarono a tutti i dati e a tutte le osservazioni astronomiche che poterono mettere insieme, e fisici, matematici e astronomi si misero al lavoro.

Poichè gli scienziati costituiscono tutti una grande famiglia: oggi sono gli astronomi che chiedono l'aiuto dei fisici, domani saranno i fisici che chiederanno agli astronomi di cercare di leggere alcuni messaggi inviatici dalle stelle in cui è scritto che cosa accade nella materia portata a quelle altissime temperature che qui sulla Terra non siamo capaci di produrre; ieri i matematici chiedevano agli astronomi di controllare con le osservazioni i risultati delle loro teorie, domani gli astronomi chiederanno ai matematici l'aiuto dei loro sistemi di calcolo; e così una mano lava l'altra e tutte queste mani aiutano a spingere piano piano la Scienza sulla sua via così faticosa e irta di ostacoli.

Nella ricerca della temperatura interna del Sole e delle altre stelle, gli astronomi e i fisici si trovavano in grandissima difficoltà: essi infatti dovevano lavorare al buio; naturalmente parlo figuratamente. Fin quando si cercava la temperatura superficiale del Sole, o di un'altra stella, avevamo il grandissimo aiuto della nostra messaggera, la luce; è vero che i messaggi sono un po' misteriosi e faticosi a decifrare, ma insomma sono messaggi diretti. Invece ora nulla: dall'interno delle stelle non ci arriva nessun messaggio.

E allora gli astronomi si allontanarono dalle loro cupole

R
Spettro
V
1

Spettro
2

Spettro
V
3

A

50

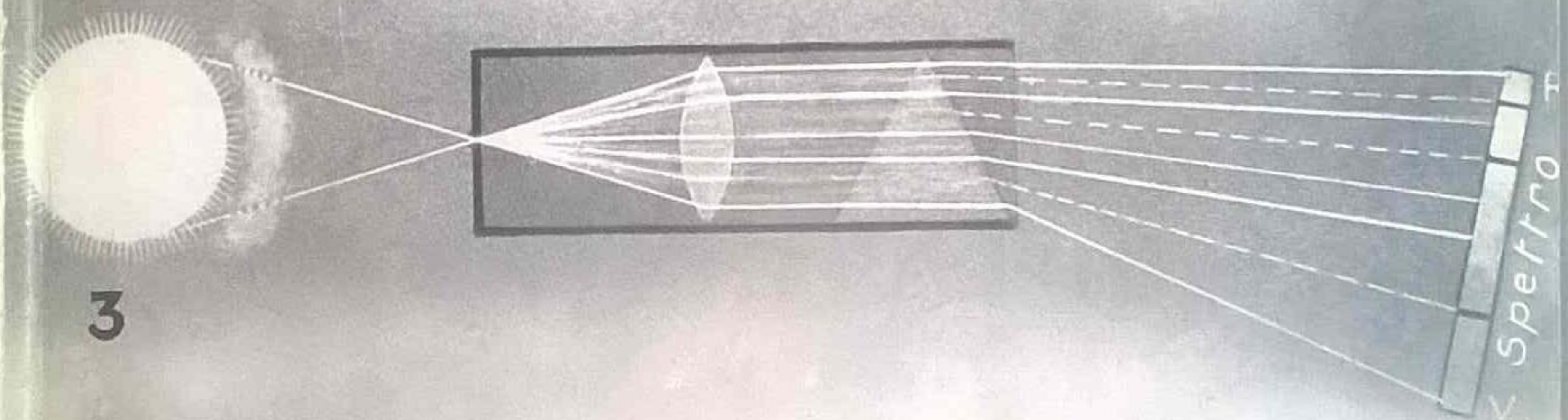
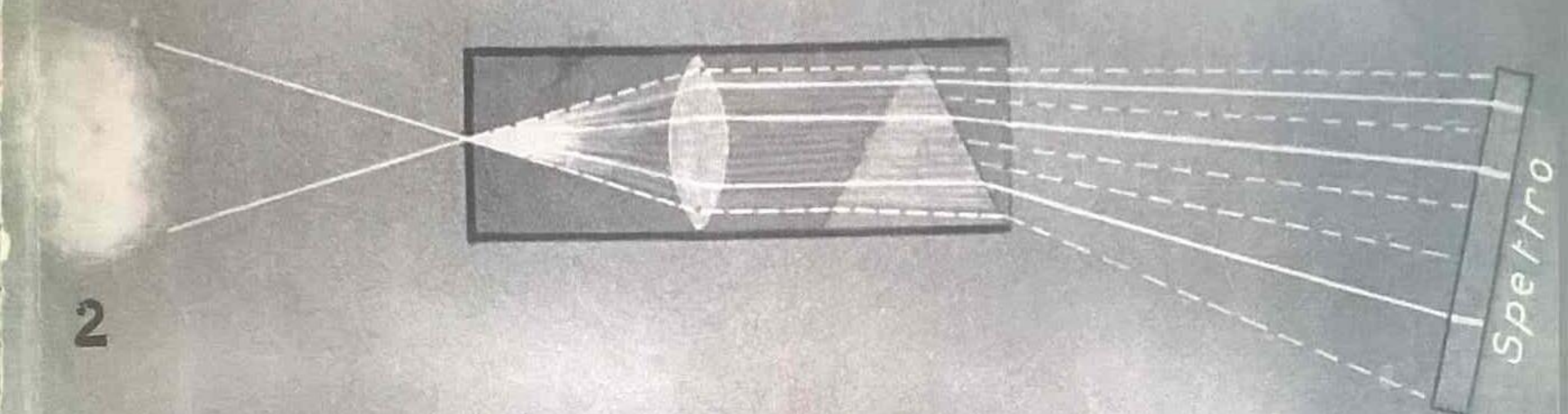



TAVOLA I

Vari tipi di spettri: 1, spettro continuo di un corpo solido incandescente; 2, spettro di emissione di un gas luminoso; 3, spettro di assorbimento, quando un gas intercetta una luce. Gli spettri 2 e 3 producono righe di Fraunhofer (2, di emissione; 3, di assorbimento; *dal* LAROUSSE, *Sur les autres mondes*). In basso: una parte dello spettro solare.

di osservazione, e (aiutati dai matematici e dai fisici) si misero al tavolino: fecero alcune ipotesi, ne trassero conseguenze e tornarono al cannocchiale per vedere se queste conseguenze erano confermate dal risultato delle osservazioni; qualche volta accadeva che queste erano del tutto diverse da ciò che ci si aspettava e allora di nuovo al tavolino a fare nuove ipotesi, a trarne altre conseguenze; così, poco per volta, gli astronomi giunsero a fare una teoria che sembrava pienamente d'accordo con l'osservazione; ma ecco che si scoprono una o due stelline un po' strane che buttano all'aria tutto; e allora nuove ipotesi, nuove deduzioni, nuove osservazioni... Ricordate? Pazienza e perseveranza...

E così si è giunti a certe conclusioni che al giorno d'oggi sembrano verosimili; perchè tutto questo è lavoro di questi ultimi anni, all'ingrosso dal 1910 in poi; quaranta anni!

Possono sembrare molti, ma che cosa sono quarant'anni nella storia dell'Astronomia? Già nell'VIII secolo avanti Cristo il popolo dei Caldei, come risulta dalla interpretazione delle scritture cuneiformi di cui sono coperti mattoni trovati in varie parti della Mesopotamia, aveva cognizioni astronomiche tanto sviluppate da poter predire alcuni fenomeni celesti; e questo popolo dei Caldei aveva alcuni osservatori astronomici, costituiti da torri piramidali a più piani, nei quali diversi astronomi e sacerdoti osservavano i fenomeni celesti e ne riferivano al re i risultati.

A occhio e croce possiamo dire che la scienza astronomica ha l'età di 3000 anni: direte che essa è molto, molto vecchia; io invece penso che essa sia giovanissima. L'uomo si trova sulla Terra da poco più di 300.000 anni; perciò l'età della scienza astronomica non è che la centesima parte della durata della presenza dell'uomo; per i rimanenti 297.000 anni gli uomini non si sono occupati di ciò che avveniva fuori del loro minuscolo pisellino.

Se dunque la scienza astronomica, che ha 3000 anni, è così giovane, che cosa sono questi ultimi quaranta anni trascorsi dal 1910 a oggi? Meno di un istante.

Ma torniamo alla conclusione, che oggi sembra sia quella giusta, sulla temperatura che regna nel centro del Sole. Dunque

questa conclusione è che la temperatura centrale del Sole è di circa 20 milioni di gradi.

Come vedremo più avanti, vi sono stelle più fredde del Sole e stelle più calde: vi sono stelle la cui temperatura interna è di 5 milioni di gradi e quelle che raggiungono diverse centinaia di milioni di gradi. Che cosa sono, a confronto di queste temperature, il nostro caldo e il nostro freddo?

È molto difficile riuscire a rappresentarci una temperatura di diversi milioni di gradi: immaginiamo di riscaldare fino a 50 milioni di gradi una testa di spillo che abbia un volume di un millimetro cubo e di volerla mantenere a questa temperatura: ebbene, per riuscire a conservare alla testa di spillo questa temperatura di 50 milioni di gradi, sarebbe necessario un motore di mille trilioni di cavalli-vapore e questa testa di spillo, così innocua in condizioni normali, sarebbe ora tanto calda da uccidere ogni essere vivente che le si avvicinasse a meno di 1500 chilometri!

L'origine del calore solare

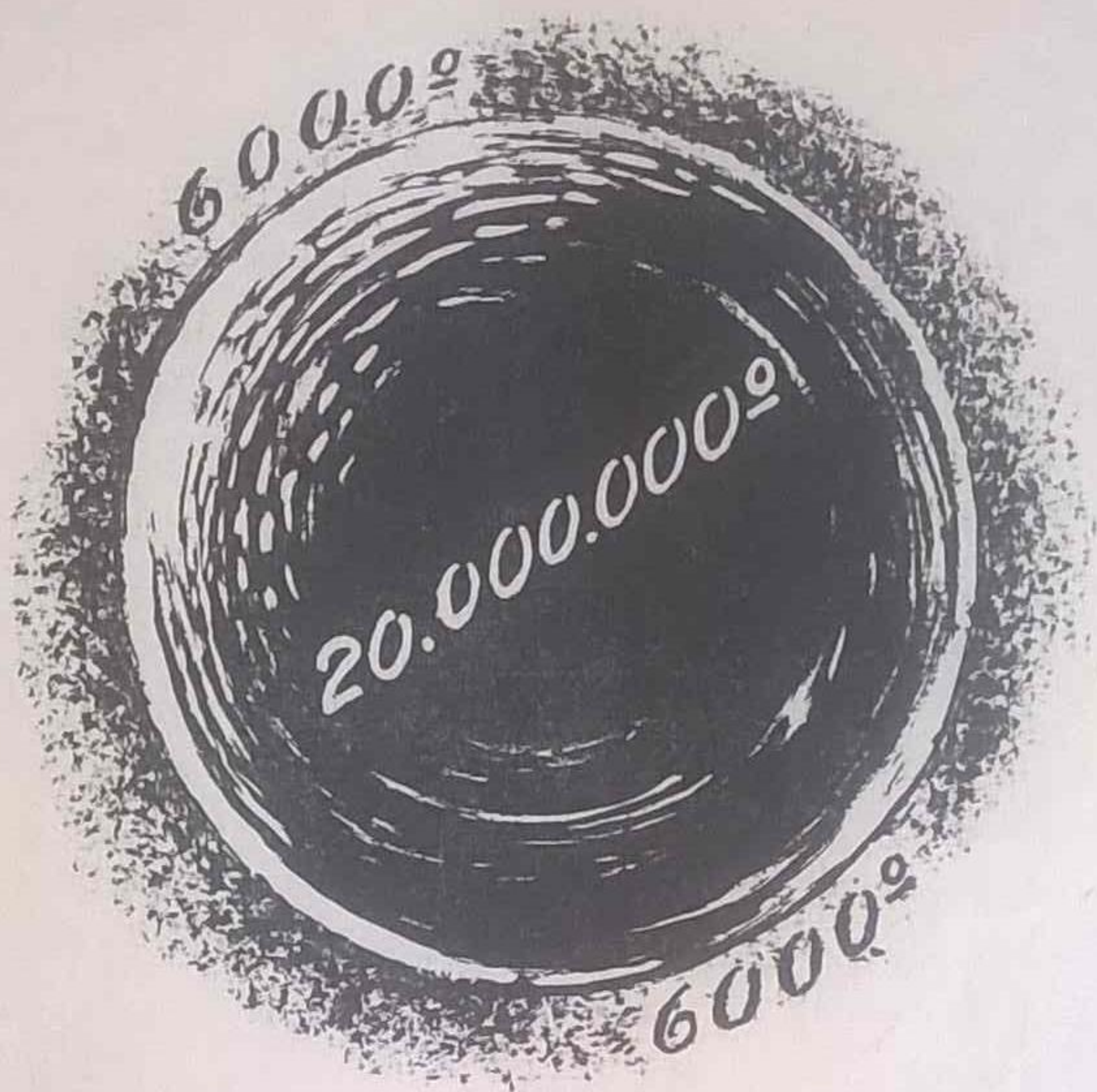
Questo enorme globo incandescente di 700.000 chilometri di raggio, che ha una temperatura superficiale di 6000 gradi e una temperatura centrale di circa 20 milioni di gradi, irradia calore in tutto lo spazio intorno.

Questo calore è enorme: in ogni secondo il Sole emette la stessa quantità di calore che si svilupperebbe dalla combustione di 11 quadrilioni e 600 mila miliardi di tonnellate di carbone fossile! La nostra mente è veramente incapace di concepire simile grandiosità.

Questo enorme calore si irradia nello spazio e va attenuandosi man mano che ci si allontana dal Sole; ogni pianeta, ogni satellite ne assorbe una piccolissima parte; il resto si disperde nello spazio. La quantità di calore che la Terra riceve dal Sole non è che la metà di un miliardesimo di tutto il calore che il Sole irradia intorno a sè: mezzo miliardesimo? Eppure

6000º

20.000.000º

6000º

è questa quantità trascurabile di calore che suscita e mantiene la vita sulla nostra Terra: è questo calore che scioglie i ghiacci, fa scorrere i fiumi, evaporare gli oceani, salire le nuvole, correre il vento, cadere la pioggia; è questo calore che fa crescere gli alberi, sbocciare i fiori, maturare i frutti; è esso che ha accumulato le miniere di carbon fossile nelle viscere della Terra; dobbiamo al calore del Sole ogni cibo che ci nutre, ogni fiamma che ci riscalda, ogni luce che ci illumina.

Tutti i popoli antichi adoravano il Sole: al ritorno dell'equinozio gli Incas salutavano il levar del Sole, dio del giorno e re della luce, dall'alto delle loro ciclopiche terrazze; essi non conoscevano nè la grandezza reale del Sole nè la sua temperatura; ma sapevano che il suo calore mantiene la vita e adoravano in lui il padre e il protettore.

Quale è l'origine di questa enorme quantità di energia che il Sole irradia nello spazio sotto forma di luce e di calore?

Un pezzo di carbone acceso irradia anch'esso energia sotto forma di luce e calore; l'origine di questa energia è la

combustione; il pezzo di carbone brucia emettendo luce e calore e va consumandosi.

La cosa più naturale, quindi, sarebbe di pensare che il Sole sia un enorme globo incandescente che bruci emettendo luce e calore; e infatti per lunghi anni gli astronomi hanno pensato così. Ma è poi sopravvenuto un nuovo fatto che li ha obbligati a modificare questa loro idea. E questo nuovo fatto è stato trovato non dagli astronomi, cioè dagli scienziati che studiano il cielo, ma dai geologi, che sono gli scienziati che studiano la nostra Terra.

Essi hanno trovato che i primi esseri viventi sono apparsi sulla Terra circa un miliardo di anni fa. E quando dico esseri viventi non dovete pensare all'uomo; no! L'uomo è l'ultimo arrivato sulla scena del mondo; è apparso sulla Terra soltanto circa 300.000 anni fa: un numero di anni assolutamente ridicolo!

Poichè la vita, sotto forma di felci, vermi e molluschi, è apparsa sulla Terra circa un miliardo di anni fa, e poichè è il Sole che con il suo calore mantiene la vita, ne deduciamo che il Sole già un miliardo di anni fa irradiava luce e calore nello spazio; cioè che l'età del Sole è di almeno un miliardo di anni.

Dico almeno, perchè certamente la Terra ha ruotato ben a lungo nello spazio prima che sulla sua superficie abbia potuto sussistere la vita; ha ruotato dapprima come un pisellino rovente, quasi fluido, che lentamente, lentamente andava raffreddandosi; ha continuato a ruotare mentre la sua superficie si rapprendeva in una crosta rugosa. E di tanto in tanto la materia rovente interna spezzava in qualche punto la crosta e sprizzava verso l'esterno; e il pisellino continuava a ruotare raffreddandosi sempre più. E la crosta si rapprendeva di nuovo nei punti in cui era stata spezzata... E la Terra ha continuato a ruotare e a raffreddarsi...; finchè la temperatura della sua crosta è diventata abbastanza bassa perchè su di essa potesse mantenersi la vita. E con il mio « lentamente, lentamente ».... ho inteso parlare di milioni e milioni di anni! E soltanto dopo questi milioni e milioni di anni è apparsa sul pisellino la vita che sotto le più varie forme va perpetuandosi da un miliardo di anni.

A tutto questo ha assistito il Sole e a tutto questo ha contribuito con il dono generoso della sua luce e del suo calore.

In seguito ai loro calcoli e alle loro osservazioni, gli scienziati pensano oggi che il Sole abbia la giovane età di pochi miliardi di anni; non pretendono proprio di essere esattissimi; ma milione più, milione meno...

Siccome si conosce quanto tempo impiega a consumarsi bruciando un grammo di carbone, è molto facile calcolare in quanto tempo si consumerebbe una massa incandescente che avesse il volume del Sole; ebbene, facendo il calcolo, si trova che se il Sole bruciasse come una enorme massa di carbone, si sarebbe completamente consumato in cinquemila anni; e allora buonanotte! Non ci sarebbero stati sulla Terra nè alberi, nè bestie, nè, tanto meno, uomini.

Evidentemente quindi, poichè il Sole ancora brilla nel cielo e ancora ci inonda di luce e di calore, dobbiamo concludere che l'origine della enorme energia luminosa e calorifica sprigionata dal Sole non è una normale combustione. Per giustificare tanti milioni e milioni di anni di luce e di calore, dobbiamo supporre che l'origine di questa energia sia un'altra: quale?

Visto che l'ipotesi della combustione normale era assolutamente da scartare, gli astronomi cercarono di applicare al Sole tutti i vari sistemi di produzione di energia che essi conoscevano; ma tutti questi sistemi fornivano un valore della vita del Sole che, come quello dato dalla combustione, era assolutamente troppo basso.

Questo problema allora rimase per lunghi anni senza soluzione finchè agli astronomi giunse dai fisici un insperato aiuto; e dico subito come.

Quando un pezzo di carbone brucia, esso si consuma ed emette energia sotto forma di luce e di calore. Quando però dico: « il carbone si consuma », non si deve credere che esso scompaia; no; semplicemente esso si trasforma. Quando il carbone brucia, si trasforma in ossido di carbonio e in anidride carbonica; inoltre, quando è bruciato completamente si trova nel fornello una certa quantità di cenere. In definitiva quindi il carbone, bruciando, si è trasformato in ossido di carbonio, anidride carbonica e cenere; e questa trasformazione è avvenuta con emissione di luce e di calore.

Quindi nella combustione di un pezzo di carbone non c'è

distruzione di materia ma c'è soltanto *trasformazione* di materia: la materia solida carbone si è trasformata nelle materie gassose ossido di carbonio, anidride carbonica e nella materia solida cenere. La materia è rimasta sempre materia e l'energia, che ci appare come luce e calore, non è, in questo caso, che il risultato della trasformazione di un tipo di materia in un altro.

Quindi materia e energia sono in questo caso due cose perfettamente distinte: da una parte abbiamo la *materia* nelle sue più varie forme, solida, liquida, gassosa; dall'altra l'*energia* che si manifesta a noi sotto forma di luce, di calore e anche sotto forma di movimento.

Qualche anno fa, invece, i fisici fecero una scoperta che rivoluzionò il mondo degli scienziati. Essi trovarono che materia ed energia non sono in realtà due categorie così assolutamente distinte come fino allora si era creduto; ma che invece esse appartengono alla stessa categoria; essi trovarono infatti che come la materia può trasformarsi in materia, per esempio da solida può diventare liquida, così la materia può trasformarsi in energia. Non è più ora il caso di materia che si trasforma in altra materia *emettendo* energia, che ci appare come luce e calore, come avveniva nella combustione del pezzo di carbone; ma è la materia che si *distrugge*, si annienta, *trasformandosi* in energia.

La trasformazione della materia in energia è una cosa che avviene in condizioni molto particolari: sono necessarie altissime temperature o altissime pressioni oppure è necessario... Ma è meglio non entrare in particolari per non confondersi le idee.

Praticamente sulla nostra Terra queste condizioni non si verificano quasi mai; la materia resterà materia e, se vogliamo energia, dobbiamo di solito accontentarci di produrla trasformando un tipo di materia in un altro.

Nelle stelle invece è un'altra cosa: ciò che da noi non può avvenire, lassù, in quei globi enormi nel cui interno la temperatura raggiunge i diversi milioni di gradi, è un avvenimento comunissimo: la materia delle stelle va man mano distruggendosi, trasformandosi in energia.

Ora — ed è questo il punto essenziale — un grammo di materia che si annichili trasformandosi in energia fornisce una quantità di energia che è cinque miliardi di volte maggiore

dell'energia che ci fornisce un grammo di materia il quale semplicemente bruci, il quale cioè semplicemente si trasformi passando dallo stato solido allo stato gassoso. Se, nelle nostre condizioni terrestri, potessimo fare annientare mezzo chilogrammo di carbone invece di farlo semplicemente bruciare, esso basterebbe per alimentare per un mese tutti i focolari domestici, tutte le officine, le centrali di elettricità, ferrovie, navi, ecc. di un paese come l'Italia; e il più grande transatlantico potrebbe fare il viaggio di andata e ritorno dall'Europa all'America con un solo pezzettino di carbone della grossezza di un pisello.

Perciò l'enorme quantità di luce e di calore che il Sole ha lanciato nello spazio dalla sua nascita fino ad oggi, ha richiesto la distruzione di una quantità di materia non tanto grande; e il Sole potrà continuare a produrre questa luce e questo calore ancora per 15 trilioni di anni.

Vi spaventa questo futuro di 15 trilioni di anni che si apre dinanzi al nostro Sole? Ma gli abitanti di questa nostra Terra non vedranno questo lunghissimo succedersi di anni: il nostro futuro è più breve, per quanto non così breve da dovere destare preoccupazioni per noi, per i nostri figli, o per i nostri nipoti.

La composizione del Sole

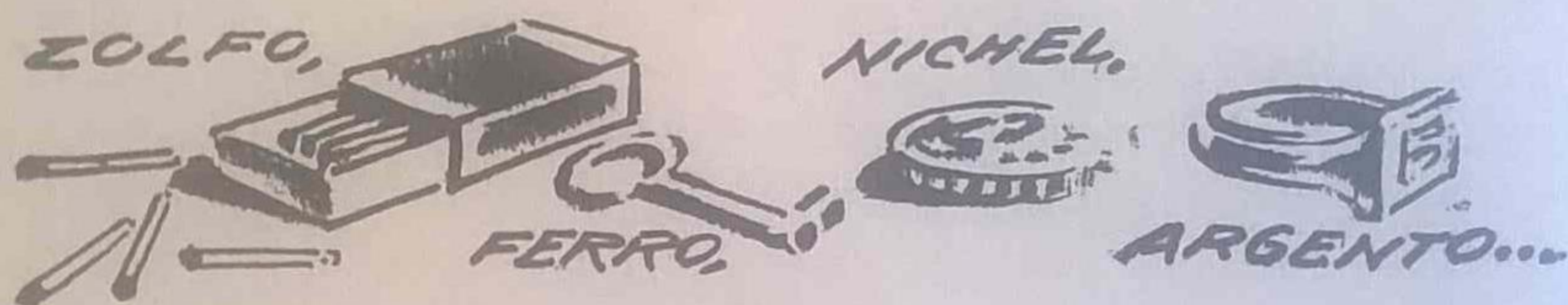
La luce che ci giunge dal Sole porta con sè un altro messaggio molto utile: un messaggio in cui è scritto, sempre naturalmente in lettere cifrate, di che cosa è fatta quella materia che si trova a una temperatura tanto alta e che distruggendosi produce da tanto tempo luce e calore.

Prima però poniamoci una domanda: di che cosa è fatta la materia che costituisce la Terra?

Cominciamo: acqua, legno, ferro, oro (purtroppo poco) e poi olio e carbone e paraffina e sale... e poi ancora argento e mercurio; si potrebbe continuare ben a lungo questa lista e sempre si troverebbe qualche cosa da aggiungervi. E allora? Non

possiamo proprio conoscere con precisione di che cosa sia costituita questa nostra Terra?

Facciamo un paragone. Se chiedo a qualcuno di quante parole è costituita la lingua italiana, sono sicuro di metterlo proprio in un bell'imbarazzo; e questo qualcuno potrebbe uscirsene per il rotto della cuffia dicendomi: non posso dire di quante parole sia costituita la lingua italiana, ma posso dire che tutte queste parole sono formate con le ventuno lettere dell'alfabeto; e anzi tutte le parole italiane nuove che vanno nascendo di giorno in giorno e quelle che nasceranno in seguito, saranno anche esse formate sempre con le stesse ventuno lettere.

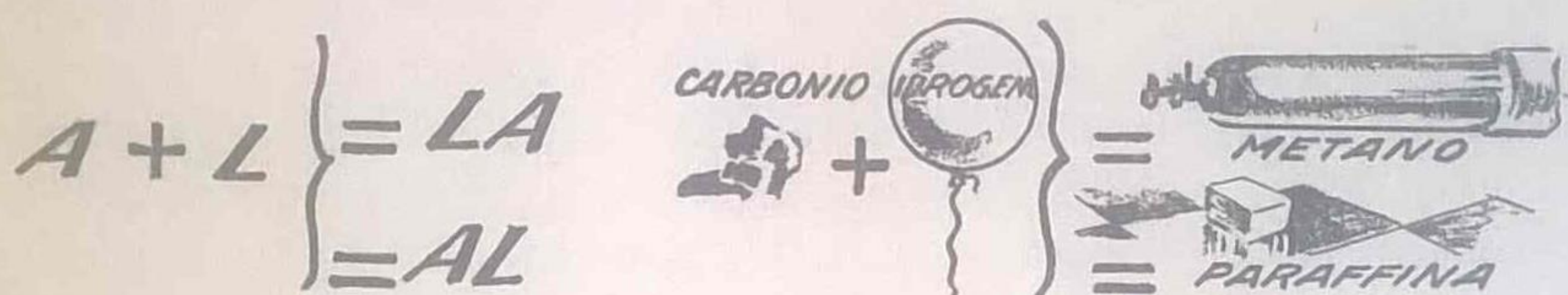
Benissimo: la stessa cosa vale per la materia di cui è costituita la Terra. Noi non possiamo dire di quante sostanze sia costituita questa materia, anche perchè i chimici nei loro laboratori vanno di giorno in giorno creando sostanze nuove. Ma possiamo dire che tutte queste sostanze sono formate combinando insieme, in modo diverso, novantadue elementi fondamentali; come vi sono le parole di due lettere, quelle di tre lettere, ecc., così vi sono le sostanze formate di due o tre, ecc. di quegli elementi fondamentali.

Potrei scrivere qui uno dietro l'altro tutti questi novantadue elementi; ma mi accontenterò di nominarvene qualcuno di cui il nome sia già familiare: idrogeno, carbonio, azoto, ossigeno, sodio, alluminio, zolfo, ferro, nichel, rame, argento, iodio, mercurio, piombo.....

Inoltre con le stesse lettere io posso formare parole diverse a seconda del modo in cui le combino; per esempio, con le lettere *l* e *a* posso formare la paroletta *la* e la paroletta *al*; con le lettere *a, e, n, p,* posso formare la parola *pane* e posso anche formare la parola *nepa* che per ora non ha nessun significato ma che tra cinquant'anni potrebbe servire a indicare qualche

cosa, che so io?, per esempio un nuovo mezzo di trasporto o un nuovo gioco.

La stessa cosa avviene per gli elementi. Per esempio, combinando in modo diverso il carbonio con l'idrogeno si può formare il metano o la paraffina; l'idrogeno e l'ossigeno, combinati diversamente, danno o l'acqua o l'acqua ossigenata; ecc.

A + L = LA
= AL

CARBONIO + IDROGENO = METANO
= PARAFFINA

Dunque novantadue sono gli elementi fondamentali che, combinati in vario modo, formano tutte le sostanze che costituiscono la nostra Terra.

Ora la domanda che ci facciamo non è più: « di quali sostanze è costituito il Sole? », ma piuttosto: « quali sono gli elementi fondamentali che entrano nella costituzione del Sole? ».

Ho detto che per rispondere a questa domanda è necessario sapere decifrare un messaggio che ci porta la luce proveniente dal Sole.

Già sappiamo che la luce proveniente da un corpo solido incandescente, dopo essere passata attraverso lo spettroscopio, ci dà una striscia colorata, nella quale appaiono in bell'ordine tutti i colori dell'arcobaleno; la intensità relativa di questi colori, poi, ci dice la temperatura del corpo. E ciò accade qualunque sia il corpo solido incandescente che io guardo; per esempio questo piccolo pezzo di rame, portato alla incandescenza, mi darà anche esso, come il ferro, uno spettro colorato.

Ma quando un corpo è portato a temperatura abbastanza alta, emette dei vapori; tutti sanno, per esempio, che l'acqua riscaldata emette vapore di acqua. Ciò accade non soltanto per l'acqua, ma, in generale, per qualsiasi corpo: il ferro riscaldato emette vapori di ferro, il rame emetterà vapori di rame, eccetera.

Mentre però per l'acqua ciò accade a temperatura relativamente bassa, per altri corpi (come per il ferro e per il rame)

è necessario portarli a temperatura di molte centinaia di gradi e più perchè si possa avere emissione di vapori.

Portiamo perciò a questa altissima temperatura un pezzo di rame e facciamo passare attraverso lo spettroscopio non più la luce proveniente direttamente dal pezzo di rame incandescente, ma la luce proveniente dai vapori di rame, anche essi incandescenti, emessi dal rame solido; se ora poniamo l'occhio al foro d'uscita dello spettroscopio, ci troviamo dinanzi a un fatto nuovo: invece di quella lunga striscia colorata, vediamo ora soltanto tre righe verticali di un bel verde brillante. Se guardiamo invece una fiamma la quale contenga, per esempio, vapori di sodio, vediamo apparire soltanto due righe verticali gialle, l'una tanto accosto all'altra da apparire sovrapposte.

E se osservo con lo spettroscopio i vapori incandescenti di tutti i novantadue elementi, mi accorgo che per ognuno di essi appaiono una o più righe verticali; però mai queste righe hanno lo stesso colore; mi spiego: le righe verdi del rame appaiono soltanto quando nella fiamma che osservo vi sono vapori di rame, anche in piccolissima quantità. Nessun altro elemento mi dà le righe di quel verde: esse sono caratteristiche del rame. Perciò tutte le volte che, osservando allo spettroscopio una fiamma, vedo comparire tre righe verticali che abbiano quella particolare colorazione verde, posso con sicurezza affermare che in quella fiamma esistono vapori di rame.

Concludendo possiamo dire: qualsiasi corpo *solido* portato alla incandescenza ci dà, allo spettroscopio, una striscia in cui appaiono tutti i colori dell'iride; invece ogni elemento portato allo stato di *vapore* incandescente dà allo spettroscopio soltanto una o più righe verticali di una certa colorazione, caratteristica dell'elemento osservato.

È proprio questa la chiave che serve a decifrare il messaggio.

La luce proveniente dal Sole, che è un corpo allo stato incandescente, giunge a noi carica di due messaggi: l'uno, proveniente dalla superficie del Sole piuttosto densa e l'altro proveniente dalla sua atmosfera, nella quale fluttuano i vapori.

Il primo messaggio si svela a noi, allo spettroscopio, sotto forma di una lunga striscia colorata dei colori dell'iride; e il fatto che tra questi colori il giallo ci appare più brillante ci fa conclu-

dere, come sappiamo, che la temperatura del Sole è di 6000 gradi. A questo primo messaggio è unito il secondo: ed ecco, sovrapposte alla striscia colorata, diverse righe verticali di vario colore.

Ricordando allora, per esempio, che due righe vicinissime di quel certo colore giallo sono caratteristiche del sodio, che tre righe di quel certo colore verde sono caratteristiche del rame, ecc., guardiamo con attenzione: se vedremo comparire due righe di quel giallo o tre righe di quel verde, affermeremo con sicurezza che uno degli elementi fondamentali che costituiscono il Sole è il sodio o il rame.

E così, standocene tranquillamente quaggiù, possiamo sapere di che cosa è costituita quella enorme massa incandescente che brilla lassù a 149 milioni di chilometri da noi.

Il secondo messaggio portato dalla luce, decifrato con l'aiuto dello spettroscopio, ci dice che dei 92 elementi fondamentali almeno 47 sono presenti nel Sole. Però gli astronomi pensano che forse esistono nel Sole anche i rimanenti elementi, ma che essi vi si trovino in così piccola quantità da non poter dare alla luce, per così dire, una colorazione sufficiente a essere osservata.

In pratica l'uso dello spettroscopio è molto più complicato di quanto non vi possa sembrare da ciò che io ne ho detto. [1] Ma non ho certamente la pretesa di entrare in troppi particolari; mi accontento di potervi dare un'idea dei sistemi e degli apparecchi usati per giungere a carpire segreti che fino a poco tempo fa sembravano essere senza speranza di spiegazione.

Stranezze della superficie del Sole

Tra tutti gli elementi che costituiscono il Sole, il più abbondante è l'idrogeno. Esso inoltre è l'attore principale di un magnifico spettacolo a cui possiamo assistere da quaggiù e che, con qualche illustrazione, farò vedere anche a voi.

[1] In particolare, a causa di fenomeni di assorbimento, le righe caratteristiche dei diversi elementi si presentano quasi sempre, nello spettro del Sole o di altre stelle, come righe nere che occupano le stesse, identiche posizioni delle righe brillanti corrispondenti.

L'8 luglio dell'anno 1842 (cioè poco più di un secolo fa) doveva esserci una eclisse totale di Sole; cioè la Luna doveva passare esattamente dinanzi al Sole, coprendolo interamente; perciò il piccolo mondo degli astronomi era un po' in eccitazione. Essi prepararono tutti i loro strumenti, pregarono il buon Dio di mantenere il cielo sgombro di nuvole e, al momento buono, si istallarono in osservazione. La loro attenzione fu subito attratta da qualche cosa di strano: essi videro, intorno alla Luna, diverse lingue di fuoco che erompevano dal Sole come gigantesche fiamme color rosa. Gli astronomi rimasero sbalorditi; e il loro stupore fu così grande che, quando si riscossero, il momento più favorevole alla osservazione era passato: la Luna, completamente indifferente agli astronomi, ai loro strumenti e al loro stupore, aveva placidamente continuato il suo cammino e il disco del Sole andava lentamente riapparendo dall'altra parte.

Naturalmente, in queste condizioni, le osservazioni degli astronomi furono molto discordanti: chi disse di avere visto soltanto due di queste lingue di fuoco, che furono poi chiamate *protuberanze*; chi ne aveva viste tre molto ampie, chi giurò di averne viste tre poste sulla parte superiore del Sole e tutte seghettate. Insomma, non fu possibile mettersi d'accordo: la cosa importante però fu che tutti furono concordi nell'affermare che queste protuberanze esistevano.

In verità già da molto, molto tempo c'era chi diceva di avere visto, a occhio nudo, queste gigantesche lingue di fuoco; se ne era cominciato a parlare nel 1239! Ma si disse che erano illusioni ottiche e questi poveri osservatori dall'occhio d'aquila non furono presi sul serio. Ora però non c'era dubbio: le protuberanze del Sole esistevano veramente.

È facile immaginare con quanta ansia gli astronomi aspettassero la prossima eclisse totale che doveva avvenire in Svezia nel 1851. Il direttore dell'Osservatorio di Greenwich organizzò una spedizione, di nuovo si installarono gli strumenti, di nuovo il tempo fu clemente. Questa volta lo stupore non alterò le facoltà di osservazione degli astronomi e i risultati furono quasi concordi.

E così a ogni eclisse le osservazioni miglioravano; intanto

anche gli strumenti si perfezionavano, se ne usavano di nuovi e così, poco per volta, anche questo mistero cominciava a schiarirsi.

Le protuberanze sono grandi lingue di idrogeno incandescente che erompono dal Sole fino a un'altezza enorme che ha raggiunto, per qualcuna di esse, gli 800.000 chilometri! Se si pensa che il raggio della Terra è di circa 6000 chilometri, ci si rende subito conto della grandiosità di questo fenomeno: per raggiungere l'altezza di una di queste più grandi protuberanze, sarebbe necessario porre l'una sull'altra circa 65 Terre!

Queste enormi lingue sono masse di idrogeno di grande intensità luminosa che si sollevano improvvisamente e violentemente al di sopra della superficie solare e che qualche volta se ne staccano. Alcune rassomigliano al fumo che esce dai nostri fumaioli o dai crateri dei vulcani e che, giunto a una certa altezza, si piega orizzontalmente; altre volte hanno forme stupende che ricordano i più bei fuochi d'artificio; oppure rappresentano magnifici palmizi o strani fiori filamentosi dal gambo sottile e la corolla ampissima; altre si distendono invece come vere nuvole del cielo solare.

Queste magnifiche forme luminose non stanno però immobili; al contrario, esse sono animate di vita violenta; erompono dal Sole a velocità altissima; si innalzano rapidissimamente per un'altezza di centinaia di migliaia di chilometri, si incurvano, si torcono, si spezzano; e tutto avviene nel giro di poche ore! Tutti questi movimenti sono così impetuosi da raggiungere velocità di parecchie migliaia di chilometri al secondo.

Una velocità di parecchie migliaia di chilometri al secondo! Il più veloce dei nostri proiettili ha una velocità di circa 1000 metri al secondo...

Ecco, a pagina 32, una bella fotografia del disco del Sole; a voi forse non sembrerà una bella fotografia, con tutte quelle macchie disseminate qua e là. Ma no, quelle macchie sono vere macchie che appaiono sulla superficie del Sole.

Esse appaiono ora qua ora là, qualcuna più piccola, qualcuna più grande; alcune durano pochi giorni, altre si mantengono per cinquanta, sessanta, settanta giorni.

Grandi cicloni sconvolgono continuamente la superficie del

Sole; e, proprio come accade per i cicloni dell'atmosfera terrestre, essi creano qua e là alcune zone più o meno estese nelle quali la temperatura è molto più bassa; queste zone sono appunto le macchie, nelle quali la temperatura raggiunge i 4000 gradi invece dei 6000 della rimanente parte della superficie.

Le più piccole di queste macchie hanno un diametro di circa 800 chilometri, le più grandi raggiungono anche i 240.000 chilometri, cioè venti volte il diametro della Terra!

Alcune volte il disco solare appare quasi sgombro di macchie, altre volte invece ve ne è un numero grandissimo. Accade anzi un fatto molto strano: ogni undici anni il Sole è sconvolto da un numero di cicloni molto maggiore del solito; di conseguenza ogni undici anni il suo disco ci appare coperto da un grandissimo numero di macchie. Perchè questo strano periodo di undici anni? Questo è un mistero che non so svelarvi.

Le macchie solari non interessano soltanto il piccolo mondo degli astronomi ma interessano moltissimo tutti noi. Esse infatti influenzano tutti i fenomeni magnetici di questa nostra Terra; perciò, quando sono in gran numero, le comunicazioni telegrafiche, telefoniche e le comunicazioni radio sono seriamente disturbate; in quel periodo, inoltre, le aurore boreali sono più marcate. E si pensa che anche il bello e il cattivo tempo subiscano la influenza delle macchie solari.

I pianeti

Una famiglia mitologica

La figliolanza del Sole è piuttosto numerosa; infatti i pianeti sono nove. Oltre a questi nove pianeti tutti più o meno grandi, vi è un certo numero di piccolissimi pianeti i quali si affannano anche essi a girare attorno al Sole.

Questa famiglia planetaria è piuttosto... mitologica; mi riferisco naturalmente ai nomi. Infatti, a cominciare dal pianeta più vicino al Sole e andando man mano verso il più lontano, essi si chiamano: Mercurio, Venere, Terra, Marte, Giove, Saturno, Urano, Nettuno e Plutone.

Tra Marte e Giove c'è il gruppo dei pianetini di cui parlavamo poco fa; essi sono moltissimi e piccolissimi: moltissimi perchè raggiungono il numero di circa mille e cinquecento; piccolissimi perchè il diametro del più grande è di 700 chilometri mentre il più piccolo ha un diametro di pochi chilometri. Se si pensa che l'Italia ha una lunghezza di circa 1.000 chilometri, ci si rende conto che nello spazio questi pianetini sono

poco più di grandi sassi: eppure ognuno continua a girare sempre esattamente sulla sua orbita senza approfittare della sua piccolezza per cercare di sfuggire alla severa legge che lo costringe a questo eterno giro.

Non tutti i pianetini hanno nomi mitologici: prima di tutto perchè non so se esistesse un numero sufficiente di dei e poi... scomodare sempre un dio, anche piccolo piccolo, per un sasso di pochi chilometri di diametro, via! sarebbe stato veramente poco rispettoso verso la categoria degli dei. E allora per battezzarli ci si rivolse anche a nomi più... umani: ed ecco che, oltre Cerere, Pallade, Giunone e Vesta, [1] abbiamo un sasso che si chiama Eugenia, in onore della moglie di Napoleone III, un altro Vittoria, un altro Partenope, ecc.

Mi accorgo ora che in questo mio parlare di pianeti « piccolissimi » che sono poco più che « sassi », si può scorgere una nota di disprezzo: lungi da me una tale intenzione! Poichè sarebbe stato un po' darsi la zappa sui piedi: perchè se noi disprezzassimo i pianetini per la loro piccolezza, che cosa dovrebbero provare per la Terra gli abitanti del più grande dei pianeti, cioè di Giove (ammesso che vi siano)? Perchè la sproporzione tra Giove e la Terra è maggiore della sproporzione tra la Terra e quei pianetini; e allora se questi sono sassi per noi, la nostra

[1] Questi quattro pianetini furono scoperti tra il 1801 e il 1845.

TAVOLA II

Il Sole, sul quale sono nettamente visibili le macchie.

Terra sarà un sassolino per quegli ipotetici abitatori di Giove. Ecco perchè non c'era, nelle mie parole « piccolissimi » e « sassi », nemmeno una lontana nota di disprezzo.

Mi sembra inutile fare un lungo discorso sulle proporzioni relative dei vari pianeti. Guardate la figura riprodotta a pagina 32 ed eccovi accontentati. Vi avverto soltanto che, avendo voluto mantenere le proporzioni, sono stato costretto a disegnare soltanto una fetta del Sole, perchè altrimenti sarebbe stato necessario dare a questo libro il formato di uno di quei libroni che usavano tanti anni fa.

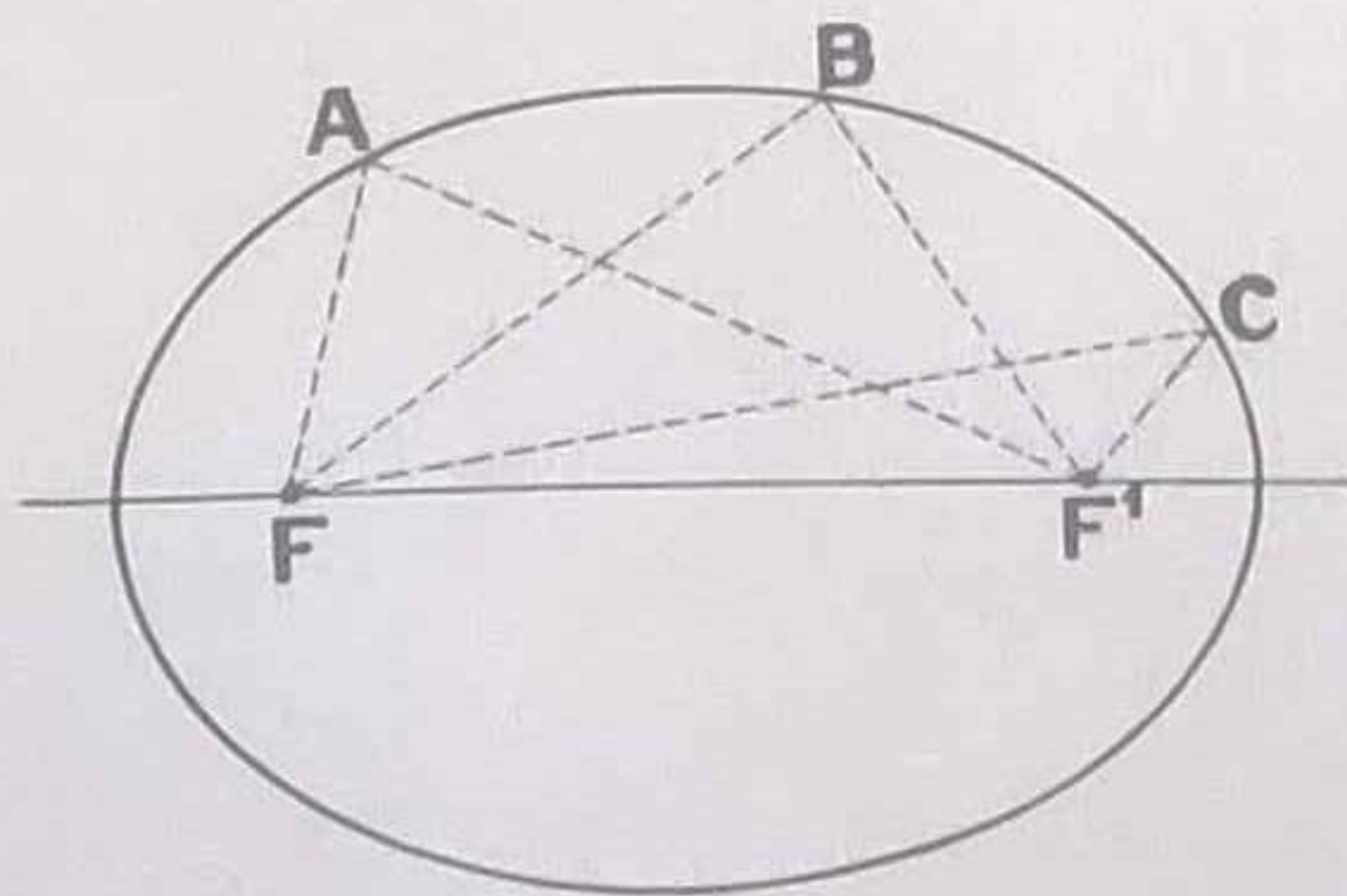
Le orbite dei pianeti

Tutti questi pianeti grandi e piccini si muovono intorno al Sole, ognuno sempre sulla propria strada. Questa strada è una curva, ben conosciuta in geometria, che si chiama *ellisse*. Che cosa è un'ellisse?

Giunto a questo punto, sono moralmente costretto a dare la definizione matematica dell'ellisse: anzi darò prima la definizione matematica e poi un'altra un po' più alla buona.

Dunque (definizione matematica); si chiama ellisse una curva tale che la somma delle distanze di un suo punto qualsiasi da due punti interni fissi, detti fuochi, è costante.

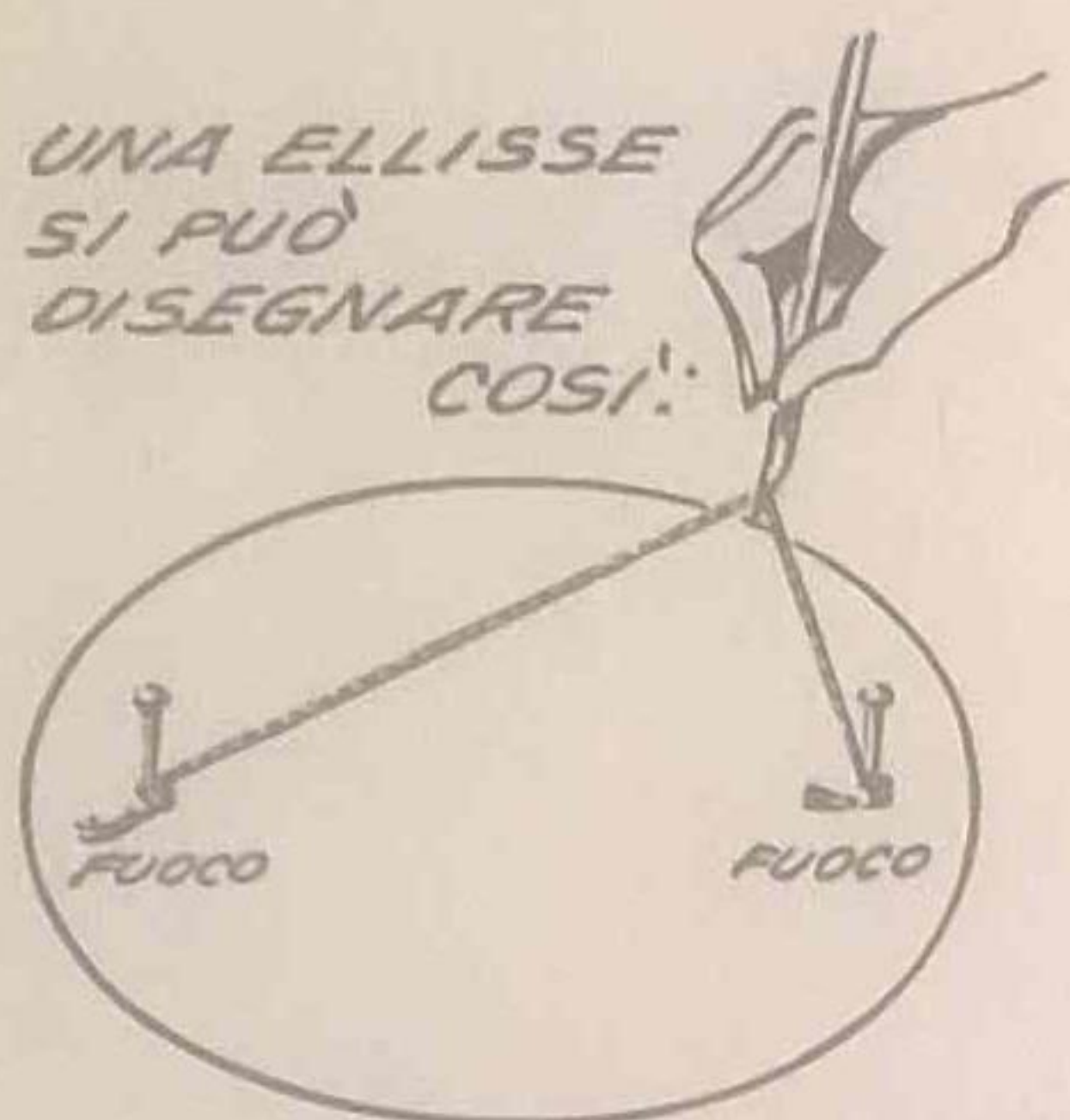
E poi (definizione alla buona): si chiama ellisse una curva... fatta così:

A B C F F^1

I due punti F e F^1 si chiamano *fuochi*.

La definizione matematica dice semplicemente che per ogni ellisse vale la proprietà

$$AF + AF' = BF + BF' = CF + CF' = \dots$$

Ho osato scrivere una formula!

In compenso, vi insegnerò un sistema facile facile per disegnare un'ellisse; piantate nel terreno due pioli e legate all'uno e all'altro i due capi di una cordicella piuttosto lunga; poi prendete un bastoncino, tendete con esso la cordicella e disegnate tutto intorno sul terreno una curva facendo scorrere la cordicella sul bastoncino, sempre però tenendola in tensione; spero che la figura riesca ad essere più chiara di tutte queste parole. La curva così tracciata è un'ellisse: infatti la lunghezza della cordicella è sempre la stessa e quindi è sempre la stessa la somma delle due distanze di un punto qualunque della curva dai due pioli che sono i fuochi dell'ellisse.

Il cerchio è un'ellisse particolare nella quale i due fuochi coincidono in un unico punto che prende il nome di *centro* del cerchio.

Ma ritorniamo al sistema solare. Dunque esiste una legge la quale dice che: ogni pianeta percorre nello spazio un'ellisse di cui il Sole occupa uno dei fuochi; in generale queste ellissi sono poco schiacciate, cioè differiscono poco da un cerchio.

A sua volta poi ogni satellite percorre, intorno al proprio pianeta, un'ellisse di cui il pianeta stesso occupa uno dei fuochi.

Questa legge delle orbite ellittiche dei pianeti fu enunciata da Keplero nel 1618; ma quanti lunghi secoli di osservazioni, di errori, di discussioni, di lotte e di false teorie per giungere ad essa!

La gravitazione universale: armonia dell'Universo

Ma perchè i pianeti e i satelliti si muovono su orbite ellittiche? Perchè, per esempio, la Luna non continua a camminare diritta innanzi a sè, allontanandosi sempre più dalla Terra, nello spazio? Che cosa è che trattiene la Luna e la costringe a girare intorno alla Terra?

Era proprio questa la domanda che, guardando la Luna, rivolgeva a se stesso un giovane di 23 anni, in una limpida sera dell'anno 1666.

Veramente possiamo scommettere che un giovane di 23 anni, che stia sdraiato di sera tardi sotto un albero, fa una di queste due cose: o dorme o pensa alla sua bella; ma in questo caso il giovane sdraiato era Isacco Newton, uno dei maggiori geni che siano mai venuti al mondo; in tutti i più svariati campi, nella matematica pura e nell'ottica, nella meccanica e nella astronomia, si incontra il suo nome, legato sempre a lavori della più alta importanza.

Dunque questo inglese ventitreenne era sdraiato nel suo giardino sotto un melo e, guardando la Luna, si chiedeva: che cosa trattiene questo nostro satellite e che cosa lo costringe a percorrere attorno alla Terra sempre la stessa strada chiusa? Ma mentre continuava a rivolgere a se stesso questa domanda che pareva non avesse speranza di risposta, una mela si staccò da un ramo e gli cadde vicino con un tonfo sordo: la mente di Newton fu rischiarata da un lampo improvviso; egli intravide una relazione tra la caduta della mela e la persistenza della Luna sulla sua orbita: è il peso che fa cadere la mela sulla Terra, è il peso che impedisce alla Luna di allontanarsi dalla Terra e la costringe a girare attorno alla Terra sempre sulla stessa orbita.

Una mela che cade... una teoria che sorge: ma tra l'una cosa e l'altra vi è una mente geniale pronta alla attenta osservazione dei fatti.

Naturalmente non posso assicurarvi che la teoria di Isacco Newton sul moto dei corpi celesti sia proprio nata così, per

merito di una mela; ma a noi è stato tramandato così dai suoi contemporanei e io, fedelmente, così la trasmetto a voi.

Ho scritto: « è il peso che fa cadere la mela... ». Che cosa è questo peso a cui tutti i corpi sono soggetti?

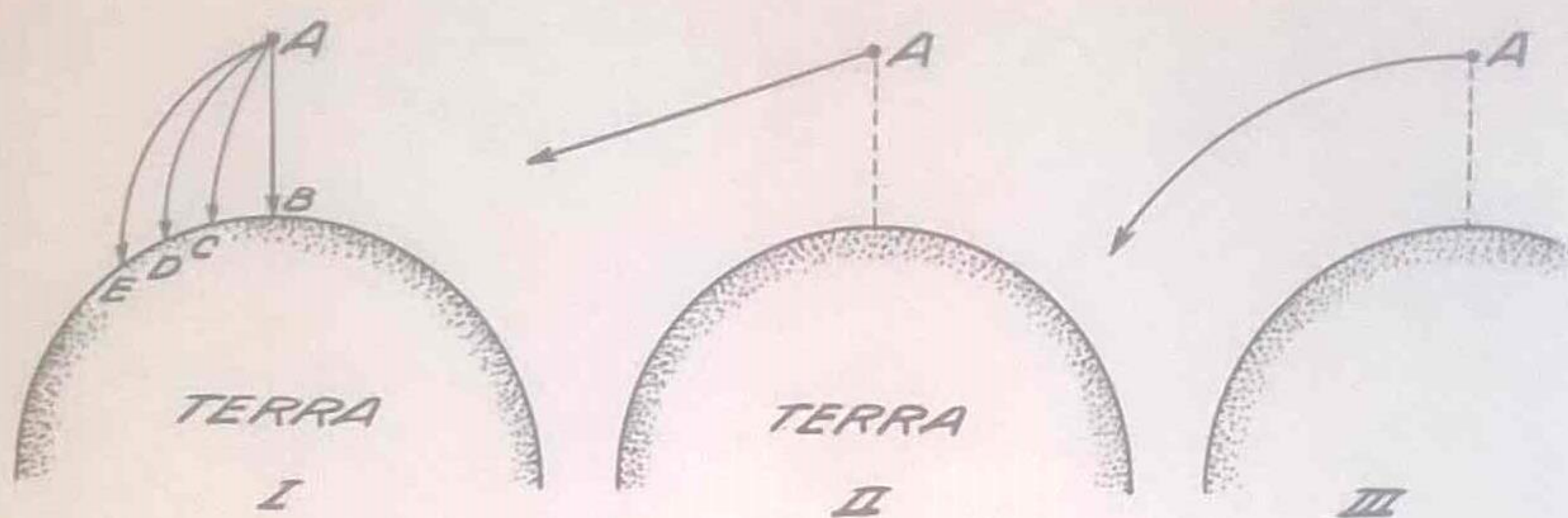
Un frutto sospeso a un albero ha un peso: non appena si stacca il picciolo, il frutto cade in terra; questo libro ha un peso: esso sta fermo perchè è appoggiato sul piano del tavolino, ma se gli tolgo questo sostegno, esso cade in terra; io ho un peso: se mi abbandono da una certa altezza, cado in terra. Perciò il peso non è che una forza che agisce su tutti i corpi e che li attira verso la Terra.

Perciò la Terra agisce come una calamita e attira verso di sè tutti i corpi che si trovano intorno. Quando Isacco Newton pensò: è il peso che trattiene la Luna sulla sua orbita intorno alla Terra, non fece altro che estendere questa forza attrattiva della Terra molto al di là della atmosfera terrestre, tutto intorno nello spazio, fino alla Luna e ancora più in là.

È logico però pensare che questa forza di attrazione vada diminuendo man mano che ci si allontana dalla Terra per quanto, alla distanza della Luna, essa deve essere ancora abbastanza potente per riuscire a trattenere questo satellite sulla sua orbita.

...COME UNA CALAMITA...

Mi viene improvvisamente in mente che qualcuno, forse, sta lì un po' interdetto pensando: « Già, la mela pesa e la Luna pesa e va bene; ma la mela cade e la Luna non cade: perchè? » Ed ecco la risposta: la mela cade perchè sta ferma e la Luna non cade perchè si muove; se la Luna stesse ferma come la mela, cadrebbe sulla Terra.

Nella figura I di pag. 37 la calotta tratteggiata rappresenta la Terra; se dal punto A lascio cadere un sasso, questo cade verticalmente sulla Terra, esattamente come la mela di poco fa; se invece in A io lancio un sasso con una certa velocità, esso va a cadere un po' più in là, nel punto C; se lo lancio con una velocità

maggiore, la sua traiettoria sarà più lunga e andrà a cadere in D; se lo lancio più forte ancora, andrà a cadere in E.

È chiaro infine che se lo lancio sufficientemente forte, il sasso seguirà la traiettoria che nella fig. II termina con una freccia e non cadrà sulla Terra; se il sasso non pesasse, cioè se non esistesse questa forza di attrazione che la Terra esercita su tutti i corpi, il sasso, una volta lanciato con velocità sufficiente, continuerebbe la sua strada diritta e si allontanerebbe sempre più dalla Terra; invece la forza di attrazione della Terra attira il sasso e lo trattiene su una orbita chiusa, impedendogli di allontanarsi (fig. III).

Dunque quando il sasso è abbandonato da fermo, cade; quando è lanciato sufficientemente forte non cade sulla Terra ma le gira intorno. Ecco spiegato perchè la mela di Newton, e tutte le altre mele di questo mondo, cadono e la Luna invece no.

Devo però aggiungere una cosa: in pratica non si potrà mai lanciare un oggetto in modo da non farlo più cadere in Terra e questo per una ragione molto semplice: immaginiamo che con un sistema adatto siamo riusciti a imprimergli la velocità sufficiente; l'oggetto parte sulla traiettoria della figura III. Esso però si muove nell'atmosfera terrestre e quindi, a causa della resistenza dell'aria, poco per volta rallenta e piano piano si avvicina sempre più alla Terra finchè finisce col cadere. La Luna invece si muove fuori della atmosfera terrestre, nello spazio vuoto; essa quindi non incontra alcuna resistenza al suo moto, mantiene sempre la sua velocità e continua senza sosta il suo eterno cammino.

Soffermiamoci ancora un pochino su questa forza di attrazione della Terra. Essa ha una proprietà di cui ci si accorge moltissime volte nel corso di una stessa giornata: quanto più grande è la massa di un oggetto, tanto maggiore è il suo peso; una automobile pesa più di una bicicletta, una locomotiva pesa più di una automobile. Cioè la forza con cui la Terra attira a sè un oggetto è tanto maggiore quanto maggiore è la massa di questo oggetto.

Abbiamo già accennato a una seconda proprietà della forza di attrazione; abbiamo già detto, infatti che essa diminuisce man mano che ci si allontana dalla Terra. Il che significa che un oggetto posto al livello del mare pesa più di quando è portato in cima a una montagna; mi affretto a soggiungere che, per quanto la montagna possa essere alta, questa differenza di peso è piccolissima.

Se potessimo prendere questo oggetto, per esempio una palla da tennis, e allontanarlo sempre più dalla Terra, vedremmo che il suo peso va sempre più diminuendo, fin quando giungiamo in un punto in cui questa palla non ha più peso: ciò vuol dire che in quel punto sulla palla non agisce più la forza di attrazione della Terra. Se allora noi la abbandoniamo lasciandola lì ferma, essa resterà ferma nello spazio in *saecula saeculorum;* se invece la lanciamo in una direzione qualsiasi con una certa velocità, essa continuerà a muoversi nello spazio, sempre in quella stessa direzione e sempre con la stessa velocità. Naturalmente quanto maggiore è la massa dell'oggetto tanto più lontano dalla Terra dobbiamo portarlo prima che il suo peso si annulli.

Ma senza andare a cercare proprio una palla da tennis per fare questa esperienza — la quale evidentemente è una esperienza ideale — fissiamo la nostra attenzione sulla prima cosa che ci capiti sotto il naso: parlo seriamente. Che cosa è la prima cosa che ci capita sotto il naso? Evidentemente l'aria; anche sulle piccolissime particelle che costituiscono l'aria, la Terra esercita la sua forza di attrazione; ecco perchè il nostro pianeta riesce a tenersi stretta intorno la sua fascia di atmosfera.

Ma man mano che ci allontaniamo dalla Terra, il peso di ognuna di queste particelle va diminuendo finchè, all'altezza

di qualche centinaio di chilometri, le particelle d'aria non pesano quasi più; basta allora un loro piccolo movimento per spingerle nella zona in cui per esse la forza di attrazione della Terra non agisce più; e queste particelle restano nello spazio, abbandonando la Terra la quale continua il suo cammino intorno al Sole, lasciando dietro di sè questa tenuissima scia.

Riassumiamo tutto ciò che abbiamo detto in queste ultime pagine; diremo brevemente: la Terra esercita su ogni oggetto che le è intorno una forza di attrazione che è tanto maggiore quanto maggiore è la massa dell'oggetto e tanto minore quanto più esso è lontano.

L'attirare tutti gli altri oggetti, grandi e piccoli, non è però soltanto una proprietà della Terra; e ce ne accorgiamo subito.

È la forza di attrazione della Terra che costringe la Luna a muoversi sulla sua orbita ellittica intorno a noi; ma a loro volta la Terra e tutti gli altri pianeti si muovono intorno al Sole su orbite ellittiche. Che cosa è che impedisce a questi pianeti di allontanarsi nello spazio su un cammino rettilineo e li costringe a girare perennemente intorno al Sole? Evidentemente, proprio come accade per la Terra, il Sole esercita una forza di attrazione su tutti gli oggetti che gli sono intorno.

Quindi la proprietà di attrarre gli altri oggetti non è una proprietà caratteristica della Terra, ma è una proprietà generale di tutti gli oggetti esistenti; il Sole esercita la sua forza di attrazione e costringe i pianeti a girargli intorno; ogni pianeta esercita la sua forza di attrazione e costringe i suoi satelliti a girargli intorno e trattiene intorno a sè la propria atmosfera; a causa di questa forza la nostra Terra tiene noi e i vari oggetti attaccati al suolo. Infine anche ogni più piccola particella di materia esercita tutto intorno la sua piccola forza di attrazione: questo calamaio che ho sul tavolo attira la scatola di cerini che gli è accanto e, a sua volta, la scatola di cerini attira il calamaio; ma naturalmente, poichè sia il calamaio che la scatola hanno piccola massa, anche le loro forze di attrazione sono piccolissime; anzi esse sono addirittura trascurabili a confronto della grande forza con cui la Terra le tiene legate a sè, a confronto cioè del loro peso; perciò il calamaio e la scatola non si corrono incontro ma restano appoggiati lì dove sono; per quanto piccole e senza effetto visibile, però, queste due forze esistono ma restano nascoste e dominate dalla infinitamente maggiore forza di attrazione della Terra.

Il calamaio e la scatola di cerini, a causa della loro piccola massa, esercitano tutto intorno una piccolissima forza di attrazione; il Sole, data la sua enorme massa, eserciterà una forza di attrazione grandissima che si estende nello spazio fino alla distanza di migliaia di milioni di chilometri.

Un'ultima osservazione: la forza di attrazione di ogni pianeta continua ad estendersi di là dai suoi satelliti e giunge, per quanto affievolita, fino ai pianeti più vicini; il moto di ogni pianeta perciò non è comandato soltanto dalla forza di attrazione del Sole, ma anche dalle forze di attrazione dei pianeti vicini.

Quindi l'orbita di ogni pianeta non è perfettamente una ellisse, come in realtà sarebbe se esso si muovesse sotto la sola influenza del Sole: sarà *quasi* una ellisse; e le piccolissime differenze che esistono tra l'orbita reale e l'ellisse rappresentano la piccolissima influenza che i pianeti vicini esercitano sul moto di questo pianeta.

Tutto ciò accade nel nostro sistema planetario; possiamo

dire con sicurezza che ciò accadrà anche in qualsiasi altro sistema planetario che possa eventualmente esistere in un qualsiasi punto dell'universo; i pianeti descriveranno quasi delle ellissi intorno alla stella-sole, i satelliti descriveranno quasi delle ellissi intorno ai pianeti.

Riconosciamo così che la attrazione dei corpi è una legge universale che regola il movimento di tutti i corpi celesti e li fa gravitare armonicamente gli uni intorno agli altri: è questa la *legge di gravitazione universale*, secondo la quale ogni corpo attrae a sè ogni altro corpo con una forza che è tanto maggiore quanto maggiore è la loro massa e quanto minore è la loro distanza.

È questa legge di gravitazione che traccia nello spazio le orbite dei corpi celesti; è questa legge di gravitazione universale che balenò alla mente di Isacco Newton in una notte lunare di quasi tre secoli fa.

I pianeti

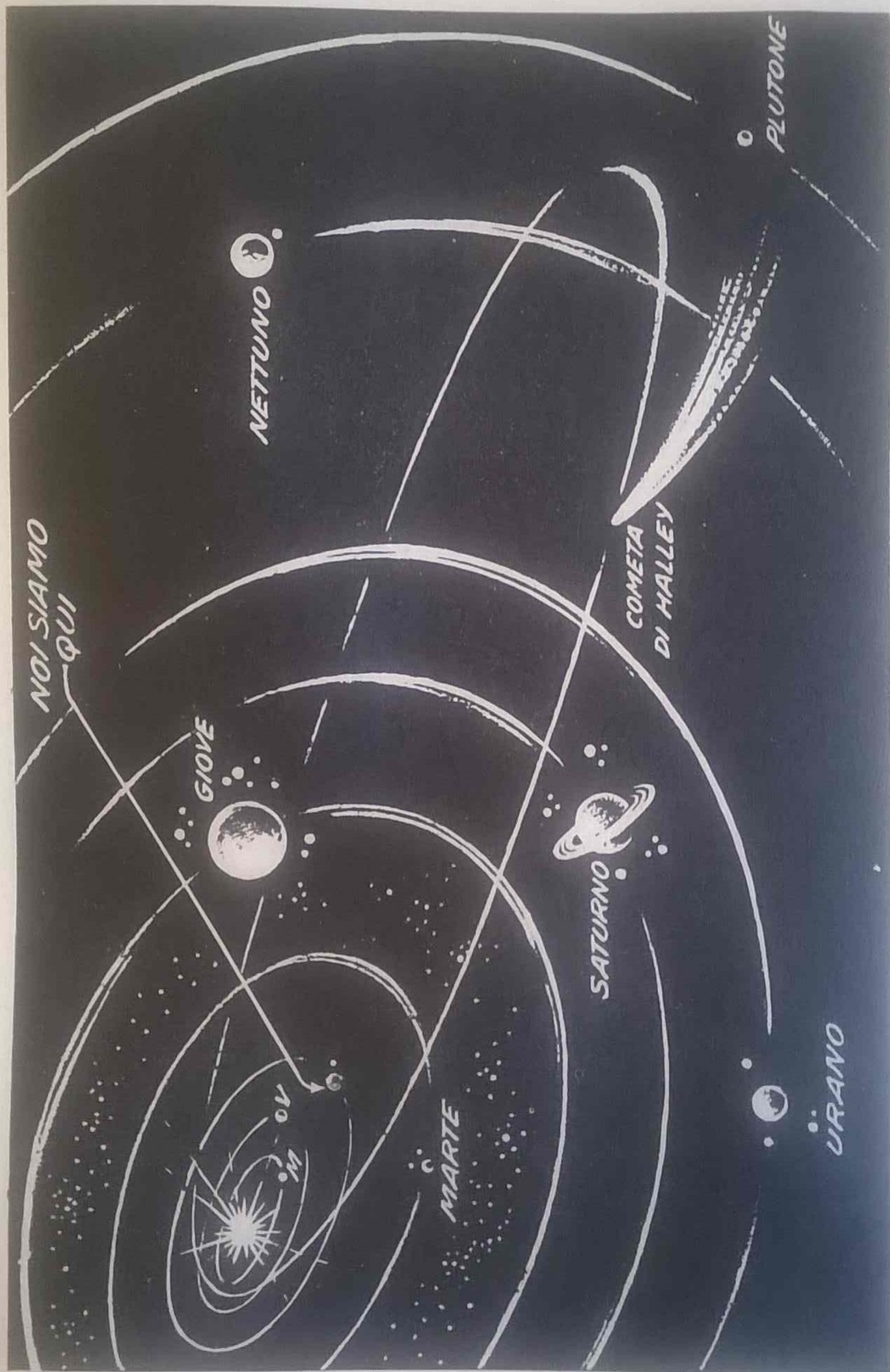
Guardando la tavola della pag. 43, si nota subito che i pianeti si dividono naturalmente in due gruppi: quattro « piccoli pianeti », Mercurio, Venere, Terra e Marte, di piccole dimensioni e più vicini al Sole; e quattro « grandi pianeti », Giove, Saturno, Urano e Nettuno, di grandi dimensioni e lontani dal Sole; più lontano ancora c'è Plutone, piccolo quasi quanto la Terra. Tra il gruppo dei piccoli pianeti e quello dei grandi pianeti c'è la folla dei pianetini.

Le orbite di Mercurio e di Venere sono poste tra l'orbita della Terra e il Sole: è questa la ragione per cui sia Mercurio che Venere non si vedono mai di notte nel cielo; guardando la figura della pagina seguente ci si accorge infatti che essi attraversano il nostro cielo stellato soltanto di giorno e ci restano quindi invisibili, immersi nella luce del Sole; essi brillano per noi soltanto all'alba e al tramonto, quando i raggi del Sole non giungono direttamente sulla Terra; così Venere appare come la stella più

brillante del mattino e della sera. Gli antichi, i quali non conoscevano la vera disposizione del sistema planetario, non pensavano che uno stesso pianeta potesse apparire ai nostri occhi come stella del mattino e stella della sera e avevano dato loro nomi diversi: così i Romani chiamavano Lucifero il pianeta Venere, stella del mattino, e Espero lo stesso pianeta, stella della sera. Molto spesso avrete incontrato nei poemi latini Lucifero ed Espero, le due brillanti stelle del cielo all'alba ed al tramonto: esse non sono oggi per noi che l'unico pianeta Venere.

Continuiamo ad allontanarci dal Sole: ecco Marte, ultimo dei piccoli pianeti.

Tra l'orbita di Marte e l'orbita di Giove, il primo dei grandi pianeti, vi è un grande spazio, occupato da quella folla di pianetini, così numerosi e così piccoli, dei quali già abbiamo parlato. Mercurio, Venere e Marte sono conosciuti dall'antichità più remota; il primo pianetino invece, Cerere, fu scoperto soltanto nel 1801 dall'astronomo Piazzi all'osservatorio di Palermo.

PLUTONE
NETTUNO
NOI SIAMO QUI
COMETA DI HALLEY
GIOVE
SATURNO
M
V
MARTE
URANO

Ed ecco, dopo i pianetini, i quattro grandi pianeti, Giove, Saturno, Urano e Nettuno, i quali sono molto più grandi della Terra.

In Giove, che è il più grande di tutti, entrerebbero comodamente 1.400 Terre e ancora avanzerebbe spazio; Saturno è un po' più piccolo di Giove ma è ancora tanto grande che se si riunissero insieme tutti gli altri pianeti, tranne Giove, si avrebbe una massa che è circa 1/5 della massa di Saturno.

Per quanto Urano e Nettuno, il terzultimo e il penultimo membro del sistema solare, siano molto più piccoli di Giove e Saturno, pure ognuno di essi ha una massa che è circa quattro volte la massa della Terra.

Ed ecco infine Plutone, il pianeta più lontano dal Sole; esso è grande circa come la Terra ed è probabilmente il più denso di tutti i pianeti. Esso è piuttosto strano e anomalo e, in tutte le considerazioni che si fanno sui pianeti, occupa un posto a parte.

I satelliti

La sera del 7 gennaio del 1610, data memorabile nella storia dell'uomo, Galileo Galilei, professore di matematica all'Università di Padova, dirigeva verso Giove il telescopio che aveva costruito con le sue mani.

Il telescopio aveva prodotto in Italia una grande impressione: Galileo lo presentò a Venezia al Doge e al Senato e il decano dei senatori salì sul più alto campanile per vedere con il telescopio alcune navi che non potevano essere scorte a occhio nudo.

Dunque quella sera Galileo puntò il telescopio su Giove e guardò: vide quattro piccoli corpi che giravano attorno al grande pianeta « come farfalle attorno alla fiamma ». I primi quattro satelliti di Giove erano scoperti.

Naturalmente cominciarono subito le osservazioni per scoprire se anche gli altri pianeti fossero circondati da satelliti e,

poco per volta, si è trovato che: i due pianeti più vicini al Sole, Mercurio e Venere, non hanno satelliti; la Terra ne ha uno, la Luna; Marte ne ha due; Giove undici, dei quali gli ultimi due sono stati scoperti nel 1938; Saturno ne ha nove ed è circondato inoltre dal magnifico anello che costituisce uno dei più bei spettacoli del cielo; Urano ha quattro satelliti, Nettuno uno e finalmente Plutone, almeno per ciò che se ne sa finora, nessuno.

Scriviamo i nomi dei pianeti nello stesso ordine in cui li incontriamo man mano che ci allontaniamo dal Sole e scriviamo sotto a ognuno il numero dei suoi satelliti:

MERCURIO	VENERE	TERRA	MARTE	GIOVE
0	0	1	2	11

SATURNO	URANO	NETTUNO	PLUTONE
10	4	1	0

Ci salta subito agli occhi che il gruppo dei pianeti più interni e più piccoli ha un numero di satelliti che è minore di quello posseduto dal gruppo dei grandi pianeti più esterni (sempre facendo astrazione dall'anomalo pianeta Plutone).

Abbiamo quindi notato nel sistema planetario due fatti strani:

1) i pianeti si dividono nettamente in due gruppi: pianeti interni piccoli e pianeti esterni grandi;

2) i pianeti interni hanno pochi o nessun satellite, i pianeti esterni hanno un numero di satelliti maggiore.

Questi due fatti sono effetto del puro caso o esiste qualche ragione che ne renda conto?

Dico subito che essi non sono effetto del caso e che la moderna teoria sulla formazione del sistema solare ne rende ragione. Quale sia questa teoria e come essa spieghi tutto ciò, lo dirò poi, supponendo naturalmente che continuiate ad avere la pazienza di ascoltarmi.

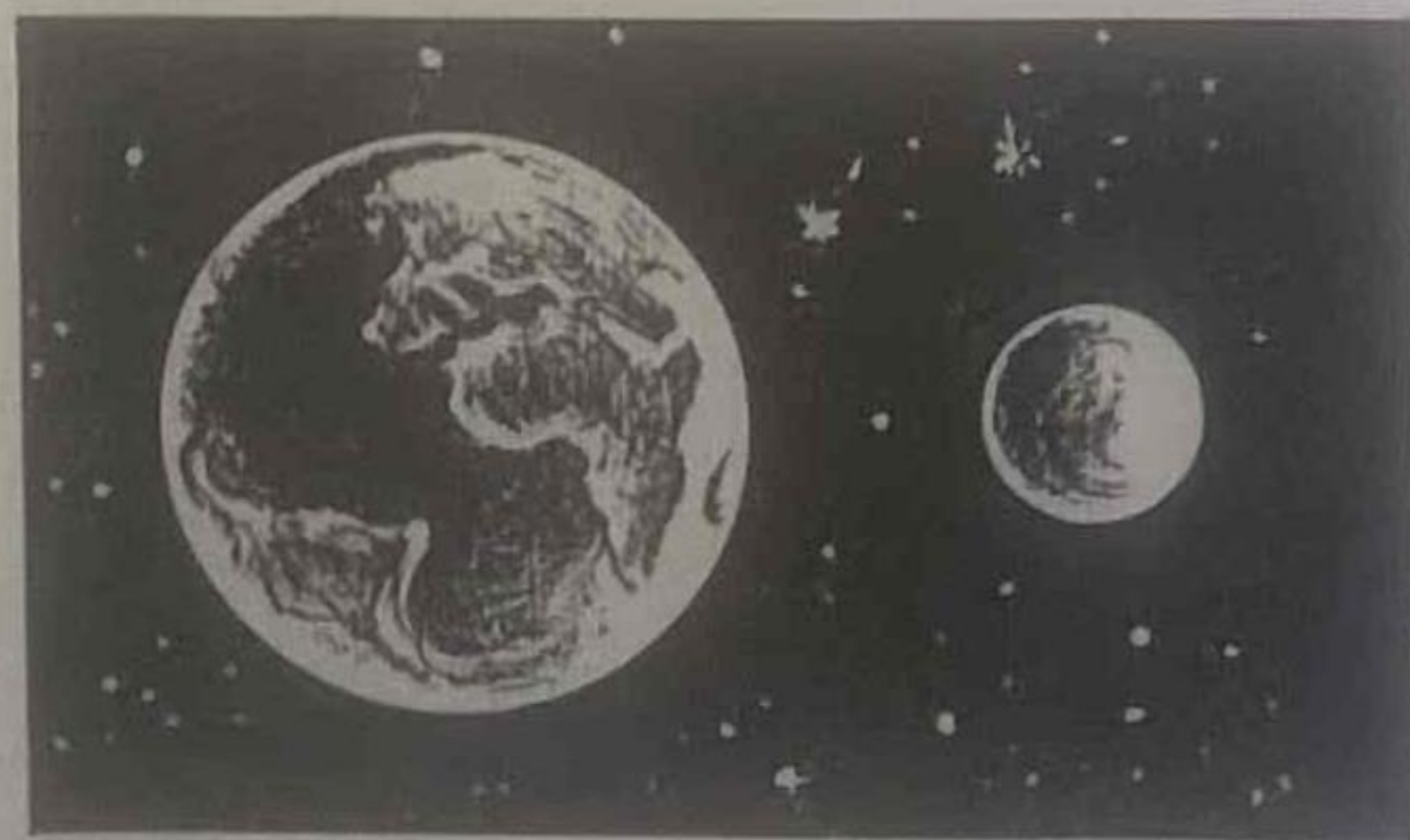
Un programma di viaggio

E ora che conosciamo la legge della gravitazione universale che regola il movimento di tutti i componenti del nostro sistema planetario e che abbiamo dato un'occhiata a tutto l'insieme dei pianeti e dei satelliti, ci proponiamo di fare un rapido viaggio dall'uno all'altro pianeta.

Prima di partire, aggiungiamo una domanda al nostro bagaglio di curiosità: può esistere la vita, così come noi la intendiamo, su questi pianeti? Vedremo lungo il cammino quale sia la risposta che si può dare a questa domanda.

Mercurio

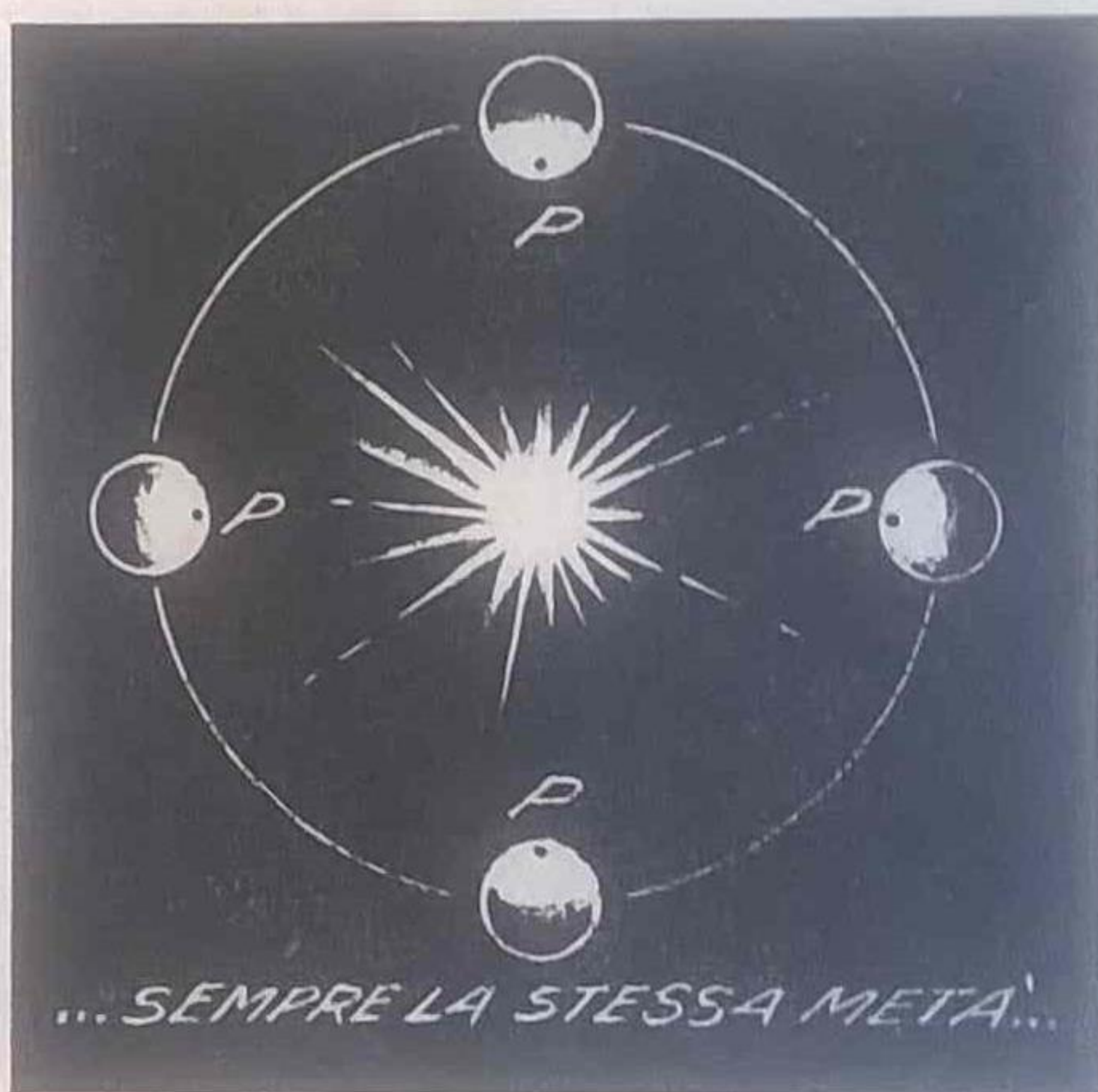
Cominciamo naturalmente dal pianeta più vicino al Sole, Mercurio, il quale è anche il più piccolo dei pianeti, a esclusione, naturalmente, dei pianetini: la sua massa infatti è circa venti volte minore della massa della Terra.

Mercurio era l'agile messaggero degli Dei; e Mercurio è stato chiamato questo piccolo pianeta per la rapidità con cui gira attorno al Sole; esso infatti percorre tutta la sua orbita in circa 88 dei nostri giorni; e poichè il tempo che un pianeta impiega a percorrere la sua orbita rappresenta il suo anno, diremo che l'anno di Mercurio corrisponde a 88 dei nostri giorni. Un ragazzo... terrestre di 16 anni che si trovasse trasportato su Mercurio, si troverebbe improvvisamente ad avere la bellezza di circa 70 anni! Non credo che le signore farebbero volentieri un tale viaggio.

LA TERRA E MERCURIO

Oltre a girare intorno al Sole, Mercurio, come la Terra, ruota intorno al proprio asse; anche Mercurio cioè è soggetto a due movimenti: a un movimento di rivoluzione intorno al Sole e a un movimento di rotazione intorno a se stesso.

Il movimento di rotazione della Terra è molto più rapido del movimento di rivoluzione perchè, come tutti ben sanno, in un anno essa gira 365 volte intorno a se stessa. Mercurio invece è molto, molto più lento nel suo moto di rotazione poichè il tempo che esso impiega a fare una rotazione completa intorno al proprio asse è eguale al tempo che impiega a fare un giro completo intorno al Sole; cioè il suo periodo di rotazione è eguale al suo periodo di rivoluzione. Questo fatto porta di conseguenza che Mercurio rivolge al Sole sempre la stessa metà della sua superficie come si vede subito dalla figura, nella quale ho chiamato P un punto fisso della superficie di Mercurio.

...SEMPRE LA STESSA METÀ...

Perciò sulla parte rivolta al Sole è sempre giorno ed è notte continua sulla parte opposta; sull'una calore torrido e luce abbagliante e sull'altra gelo e oscurità. Bisogna poi pensare che Mercurio dista dal Sole circa 58 milioni di chilometri, mentre la Terra ne dista 149 milioni; perciò ogni metro quadrato della superficie di Mercurio riceve una quantità di luce e di calore che è circa sette volte maggiore della quantità di luce e di calore che, nello stesso tempo, riceve un metro quadrato della Terra; perciò quella povera parte di Mercurio che è sempre rivolta verso il Sole abbagliante, e che non conosce il refrigerio delle tenebre, deve essere un immenso deserto riarso; anzi, poichè in questo deserto la temperatura deve essere di circa 350 gradi, in esso devono estendersi mari di piombo, di zolfo e di bismuto fusi.

Sull'altra faccia di Mercurio niente di tutto ciò: soltanto gelo e oscurità.

Questo pianeta Mercurio poi è tanto piccolo che la sua forza di attrazione non è sufficiente a trattenere intorno ad esso le particelle che costituiscono l'atmosfera.

Mancanza di atmosfera, caldo torrido e gelo spaventoso...; certamente queste condizioni impediscono che su Mercurio esista alcuna forma di vita.

Venere

Venere, dea della bellezza...; e Venere è stato chiamato questo secondo pianeta per la sua splendente bellezza. Essa è grande quasi come la Terra e quindi, come la Terra, ha intorno a sè una atmosfera la quale però pare così carica di nubi che ancora non siamo riusciti a vedere la superficie di questo pianeta che, pure, è il nostro più prossimo vicino. È probabile che sulla superficie di Venere si estendano grandi oceani i quali, a causa dell'ardente calore solare, evaporano caricando l'atmosfera di nubi.

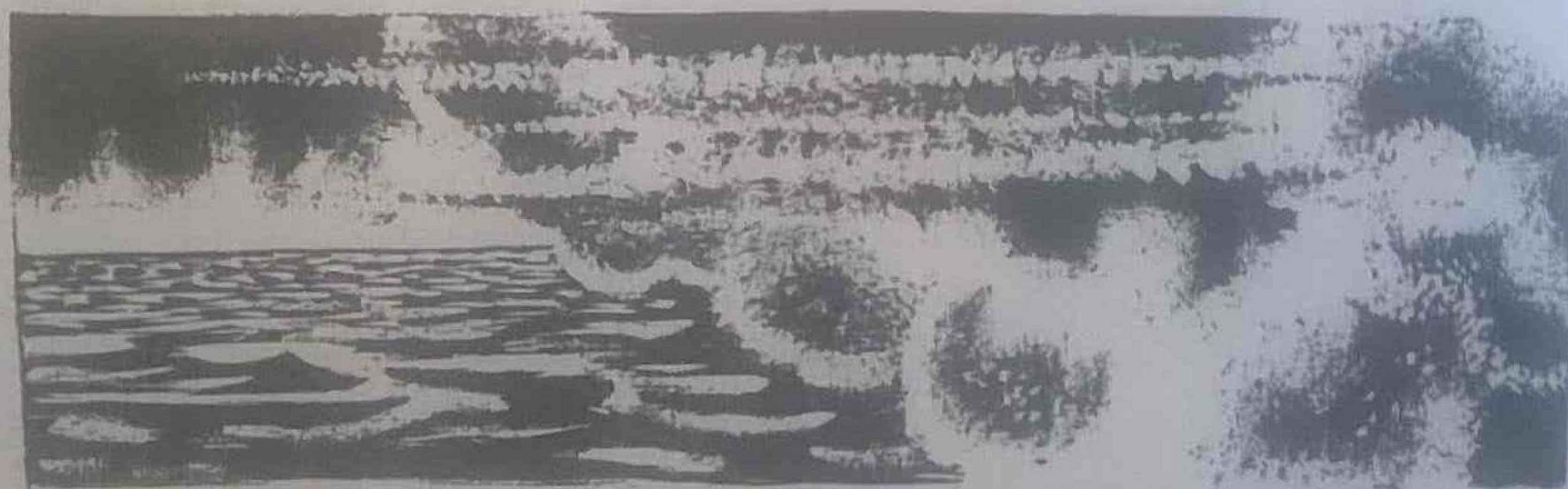
Sembrerebbe che la presenza dell'atmosfera e dell'acqua e il calore non eccessivo possano essere condizioni favorevoli alla esistenza della vita su questo pianeta: ma se si studia allo spettroscopio l'atmosfera di Venere, si deve giungere alla con-

... CARICANDO L'ATMOSFERA DI NUBI

TAVOLA III

Protuberanze fotografate durante l'eclisse totale di Sole del 29 maggio 1919, visibile in Brasile.

clusione che in essa manca l'ossigeno. Perciò con grande probabilità, malgrado le condizioni favorevoli, anche su Venere manca la vita, o almeno manca la vita come noi la intendiamo.

La Terra e la Luna

Ed eccoci giunti al nostro caro pisellino che, insieme alla sua fedele compagna, la Luna, ruota alla distanza di 149 milioni di chilometri dal Sole.

Della Terra già sappiamo diverse cose: le sue dimensioni, il suo raggio, la sua densità, la sua composizione. Occupiamoci perciò ora un po' del suo satellite.

La Luna è il corpo celeste più vicino a noi; essa si trova soltanto a 384.000 chilometri cioè è circa quattrocento volte più vicina del Sole; ventinove Terre poste l'una accanto all'altra formerebbero un ponte capace di congiungerci a questa nostra lontana provincia. La Luna ha una massa che è circa l'80ª parte della massa della Terra; essa ha quindi una massa che è soltanto 4½ volte minore della massa di Mercurio.

Credo che non vi sia nessuna attrice cinematografica che sia stata fotografata tante volte, con tanta accuratezza e con tanto amore quanto la superficie della Luna; è stata fotografata con tutti gli ingrandimenti e con tutte le luci possibili, è stata disegnata con grande accuratezza, è stato dato un nome alle sue montagne e alle sue grandi pianure. Ecco, a pag. 64, una di

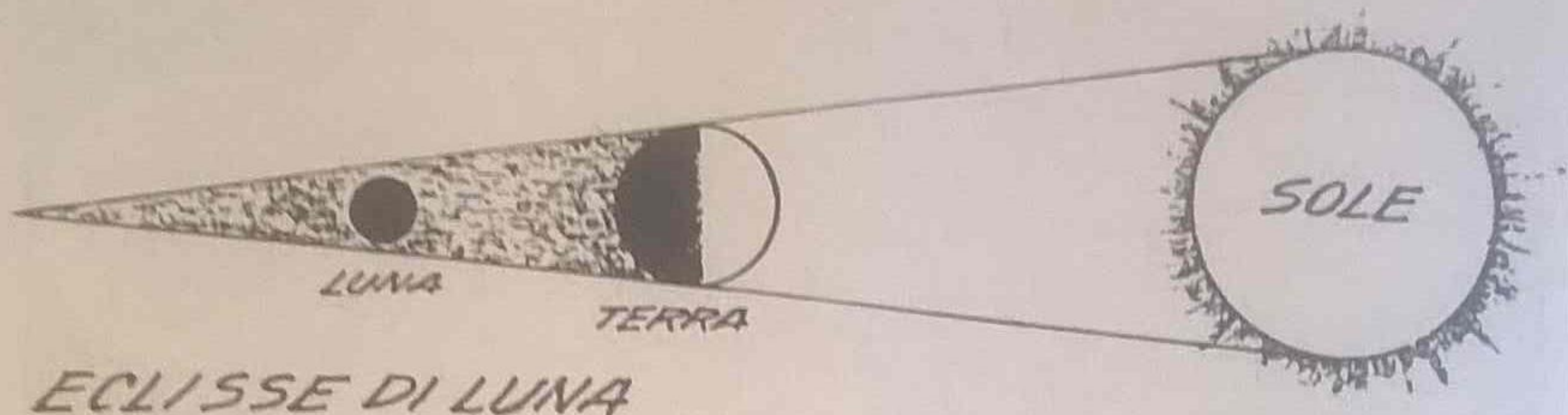
queste fotografie: quei circoli disseminati qua e là sono stati chiamati « crateri », data la grandissima rassomiglianza che essi hanno con un cratere terrestre visto dall'alto; si tratta di crateri effettivi? Molti astronomi pensano che in realtà essi si siano formati in una remota epoca di attività vulcanica di questo nostro satellite; altri astronomi invece credono che siano enormi buche provocate dalla caduta sulla superficie della Luna di grandissimi meteoriti. Due opinioni assolutamente opposte: l'una as-

QUEI CIRCOLI DISSEMINATI QUA E LÀ...

segna ai crateri una origine interna alla Luna, l'altra una origine esterna... Quale sarà vera? Gli astronomi futuri forse lo sapranno con certezza.

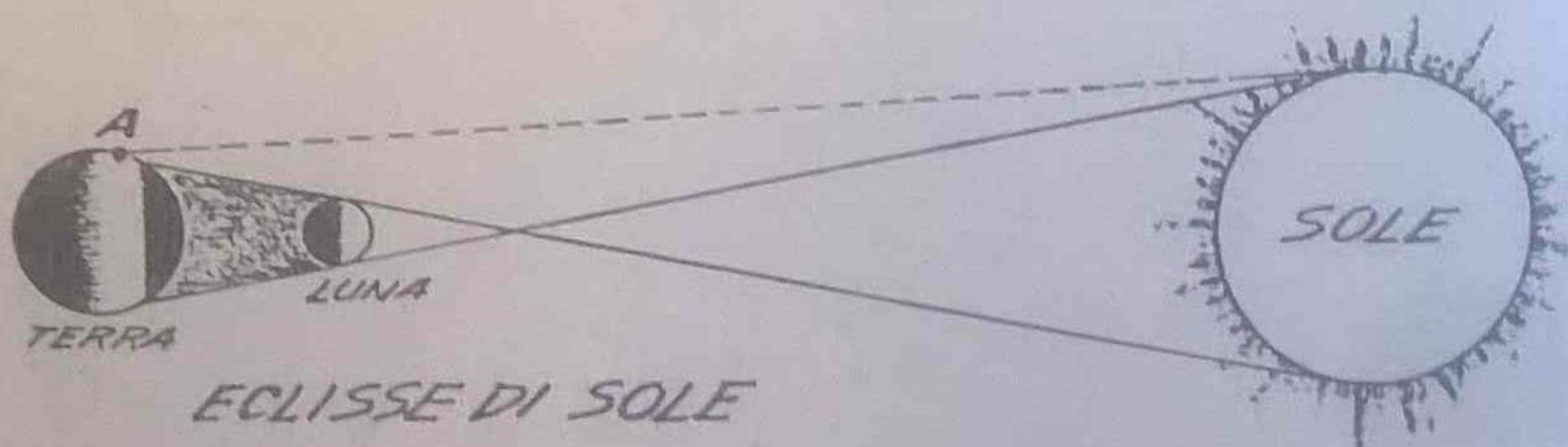
La Luna non ha atmosfera perchè, come accade per Mercurio, la sua piccola forza di gravitazione non è capace di trattenere le particelle di aria. Credo che sia ancora lontano il giorno in cui gli uomini organizzeranno una spedizione su questa remota provincia della Terra; però essi, in quel lontano giorno, dovranno portare con sè una notevole provvista di ossigeno per potere continuare a respirare per tutto il tempo in cui si tratterranno lassù; non sarà un carico molto comodo, ma... paese che vai, atmosfera che trovi.

La Luna è responsabile di due importanti fenomeni: le eclissi e le maree. Senza che siano necessarie tante spiegazioni, eccovi due figurine che mostrano come avvengono i due tipi di eclissi: quando la Terra si trova allineata tra il Sole e la Luna, questa resta immersa nell'ombra proiettata dalla Terra e si oscura: abbiamo allora l'eclisse di Luna, che è visibile da tutti

...UNA SPEDIZIONE SU QUESTA
REMOTA PROVINCIA

ECLISSE DI LUNA

i punti della Terra che in quel momento sono rivolti verso la Luna.

Quando invece la Luna si trova tra il Sole e la Terra ed è allineata con essi, essa nasconde al nostro sguardo una parte del Sole. Ora però non vi è eclisse di Sole per tutti i punti della Terra rivolti verso il Sole e la Luna; ma il Sole viene eclissato soltanto per quei punti della superficie terrestre che si trovano nell'ombra proiettata dalla Luna, come del resto mi sembra risulti chiaro dalla figura. Per gli altri punti della Terra rivolti verso il Sole, per esempio per il punto A, la Luna non intercetta nessuno dei raggi luminosi provenienti dal Sole e quindi per essi non vi è eclisse.

Poichè sono conosciuti con precisione i movimenti del Sole, della Terra e della Luna, gli astronomi hanno potuto calcolare facilmente l'anno, il mese, il giorno e l'ora in cui avverranno tutte le eclissi, sia di Luna che di Sole; e hanno anche calcolato l'istante preciso in cui esse sono avvenute, anche nel più remoto passato. Anche questo calcolo, che forse si può pensare sia soltanto una sterile curiosità, è servito a qualche cosa; per esempio, Erodoto racconta che durante una battaglia tra i Lidi e i Medi, i combattenti si fermarono stupefatti e sbigottiti per

ECLISSE DI SOLE

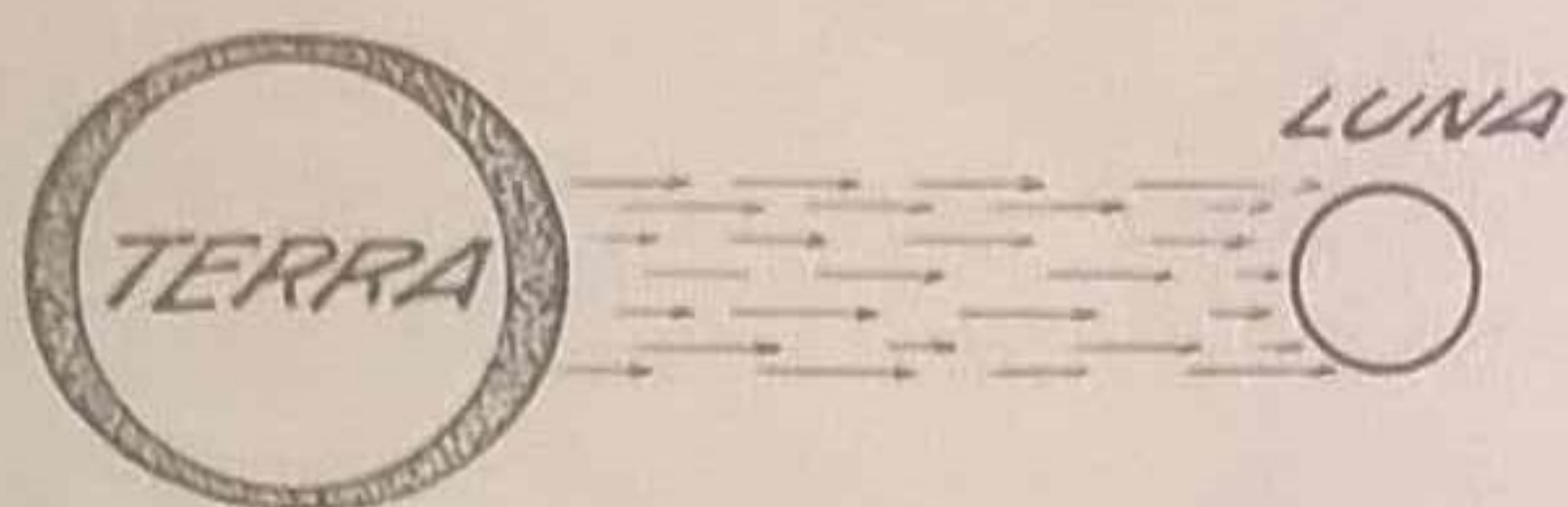
una eclisse totale di Sole e, per questa ragione, la guerrà finì; ebbene gli storici erano incerti sulla data da assegnare a questa battaglia, potendo dire soltanto che essa si era svolta tra il 626 e il 538 avanti Cristo; calcolando le date delle eclissi, gli astronomi dicono agli storici che quella battaglia ha avuto luogo il 28 maggio dell'anno 585 avanti Cristo.

Fin dai tempi più antichi le eclissi hanno provocato un terrore superstizioso e sono state sempre interpretate come indizi della collera divina e di inevitabili calamità; e questo terrore è sparito soltanto quando sono state scoperte le cause che provocano le eclissi. Durante l'eclisse del 15 maggio 1877 i Turchi fecero una vera sommossa, urlando come impazziti che il Sole veniva mangiato dal drago; era il terrore di vedere scomparire per sempre il Sole, era il terrore delle tenebre e del gelo...; e per liberare il Sole dagli artigli del mostro, si misero a tirare all'impazzata colpi di fucile verso l'astro che pian piano scompariva. La superstizione e l'ignoranza sono sempre strettamente collegate.

Se le eclissi suscitavano il terrore perchè sembravano sconvolgere il costante succedersi dei fenomeni naturali, le maree non hanno mai spaventato nessuno perchè il loro periodico ripetersi rientra in questo ordine naturale; il fenomeno della marea però aveva tanto sconcertato gli antichi che esso fu chiamato la tomba della curiosità umana; però fortunatamente questa tomba non è stata una vera tomba e la curiosità è stata soddisfatta; preferisco perciò dover dire oggi che cosa sono le maree, perchè tanti secoli fa avrei dovuto scuotere anche io la testa e dir « non lo so ».

Quasi i tre quarti della nostra Terra sono sepolti sotto il mare, che raggiunge le più varie profondità, fino ai 10.500 metri in una voragine accanto alle isole Filippine; è tutto un vasto oceano che abbraccia tutto il globo, dal quale emergono grandi isole (che chiamiamo continenti), isolette, isolotti e scogli. Intorno a questo globo coperto di acqua, ruota la Luna che esercita la sua forza di gravità tutto intorno a sè e quindi anche sulla Terra; obbedendo a questa forza di attrazione, la grande

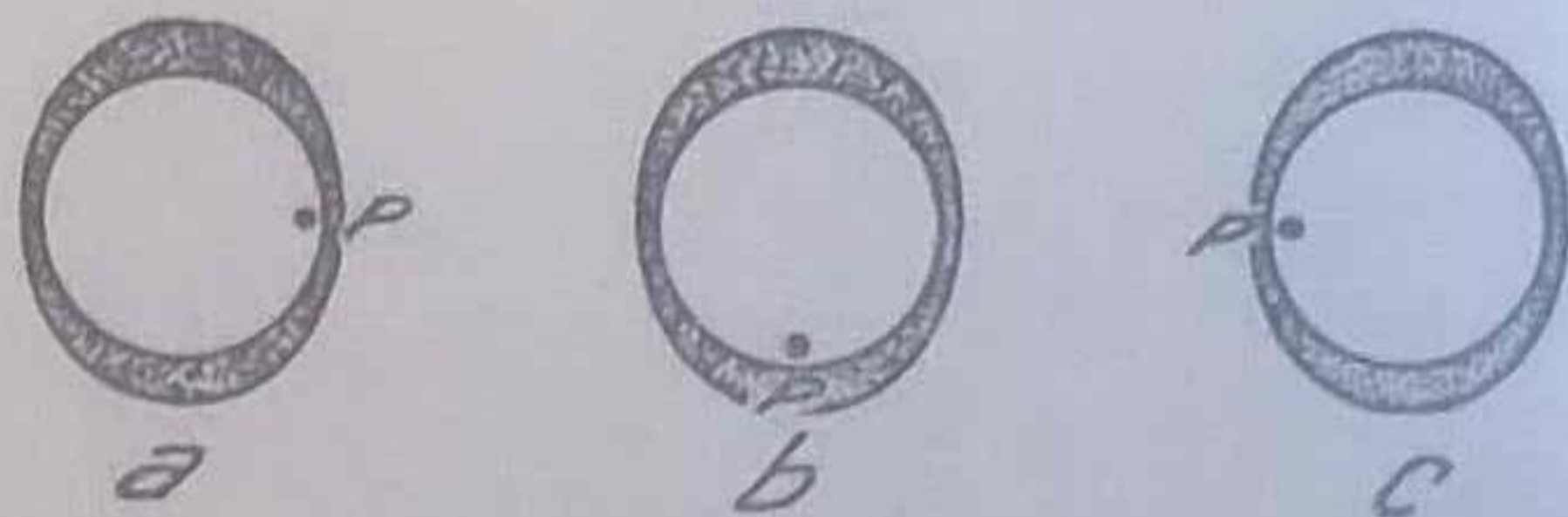
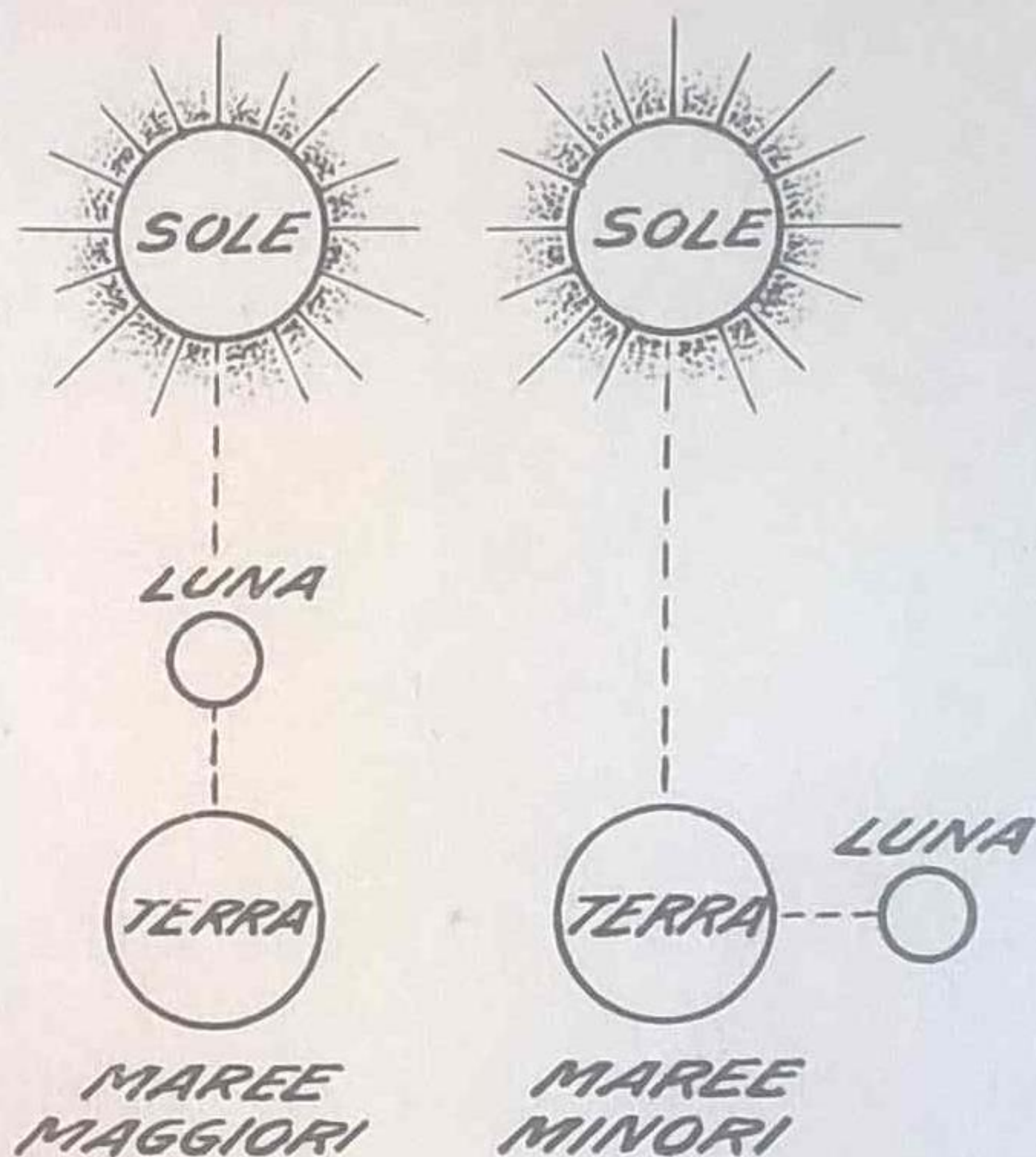
massa fluida del mare è in perpetuo movimento: vediamo come.

Le differenti parti di questo oceano si trovano a distanze diverse dalla Luna e perciò non ne sono attratte egualmente; la porzione delle acque che si trova immediatamente al di sotto della Luna è attratta con maggior forza della parte solida della Terra; nell'emisfero invece rivolto dalla parte opposta alla Luna, le acque del mare sono attratte di meno, perchè si trovano più lontane. Ne risulta che dalla parte rivolta verso la Luna le acque del mare si innalzano a causa di questo eccesso di attrazione mentre dalla parte opposta le acque tendono a rimanere indietro rispetto alla massa terrestre. Di conseguenza le acque si accumulano sia dalla parte della Luna che dal lato opposto, formandovi due prominenze che evidentemente non esisterebbero senza la presenza del satellite.

TERRA LUNA

...FORMANDOVI DUE PROMINENZE...

La Terra poi non sta ferma, ma ruota su se stessa in ventiquattro ore; quindi essa rivolge alla Luna in ventiquattro ore tutte le sue parti; di conseguenza il punto *P* che, per esempio, in un certo istante si trova in corrispondenza della protuberanza delle acque (cioè in alta marea), dopo sei ore si troverà nella posizione della fig. *a*, cioè in bassa marea, dopo 12 ore nella posizione della fig. *b*, cioè di nuovo in alta marea e dopo 18 ore di nuovo in bassa marea, come si vede dalla fig. *c*. Ecco perchè in uno stesso punto sul mare si hanno in ventiquattro ore due alte maree e due basse maree.

a b c

Mi direte che anche il Sole esercita sulla Terra la sua forza di attrazione e che quindi anche il Sole deve produrre il fenomeno delle maree; è vero, ma la grande forza di attrazione del Sole, dovuta alla sua enorme massa, è compensata dalla sua grande distanza dalla Terra, in modo che, in definitiva, le maree

provocate dalla sua azione sono molto più deboli delle maree dovute alla Luna. L'azione del Sole non fa che modificare il fenomeno delle maree provocato dalla posizione della Luna rispetto alla Terra e lo modifica ora accelerando, ora ritardando l'ora della piena, ora diminuendo, ora aumentando l'intensità del fenomeno, secondo la posizione che il Sole occupa nel cielo rispetto alla Luna. Evidentemente quando il Sole e la Luna si trovano dalla stessa parte rispetto alla Terra, come nella prima figura, le loro due azioni si sommano provocando le maree più grandi, mentre quando esse si trovano come nella seconda figura, si hanno le maree minori. Questo fenomeno così semplice viene poi complicato dalla forma delle coste e dal crearsi di correnti; su alcune spiagge di pendenza debolissima la distanza tra il punto a cui giunge il mare al momento dell'alta marea e il punto a cui giunge al momento della bassa marea, raggiunge diversi chilometri; se al momento dell'alta marea vi addormentate in riva al mare, risvegliandovi cercate inutilmente il mare che è scomparso! Per una persona che non fosse avvertita sarebbe un bello scherzo!

Ho l'impressione di essermi soffermato un po' troppo sul nostro satellite; ma chi mi può fare una colpa di volere un po' più di bene a chi abita quasi a casa nostra?

Marte

Il sanguinario dio della guerra dà il nome al piccolo pianeta che troviamo dopo la Terra, sempre allontanandoci dal Sole. Molto probabilmente il colore rossastro di Marte è dovuto alla composizione del suo suolo, nella quale si pensa che predominino alcuni composti del ferro (ossidi di ferro) che sono appunto di colore rosso.

Per quanto Marte sia più piccolo e meno denso della Terra e, a causa della sua maggiore distanza dal Sole, riceva da questo una quantità di calore minore, pure esso è, tra tutti i pianeti, quello che più rassomiglia alla Terra. Ai suoi poli si osservano due candide calotte di ghiaccio le quali si estendono d'inverno e diminuiscono durante l'estate, sparendo talvolta quasi completamente. Per quanto l'anno di Marte abbia la durata quasi doppia del nostro anno, anche su questo piccolo pianeta si ha l'alternarsi del giorno e della notte perchè anche esso, come la Terra, ruota su se stesso in circa 24 ore: Marte inoltre ha una atmosfera che è più rarefatta della nostra ma che anche essa contiene ossigeno. Infine il cambiamento periodico delle dimensioni e del colore dei cosiddetti « canali » di Marte sembra indicare che su questo pianeta vi sia vegetazione, lussureggiante al calore dell'estate e spoglia di foglie al freddo invernale.

L'alternarsi del giorno e della notte, l'ossigeno della atmosfera, i ghiacci invernali, la vegetazione...: tutti caratteri che fanno di Marte un piccolo fratello della Terra; avrà anch'esso i suoi uomini, i suoi scienziati, i suoi artisti e (ahimè) le sue guerre? Possiamo soltanto dire che è possibile che su Marte esista la vita; ma la sua atmosfera è molto più rarefatta della nostra, il suo anno è più lungo, il calore ricevuto dal Sole è minore...; evidentemente perciò, se la vita esiste su Marte, deve trattarsi di una forma di vita molto diversa, adatta alle condizioni di quell'ambiente.

Questi ipotetici abitatori di Marte vedono splendere nel loro cielo due lune alle quali noi abbiamo dato il nome dei due cavalli del dio Marte: Fobos (la paura) e Deimos (il terrore);

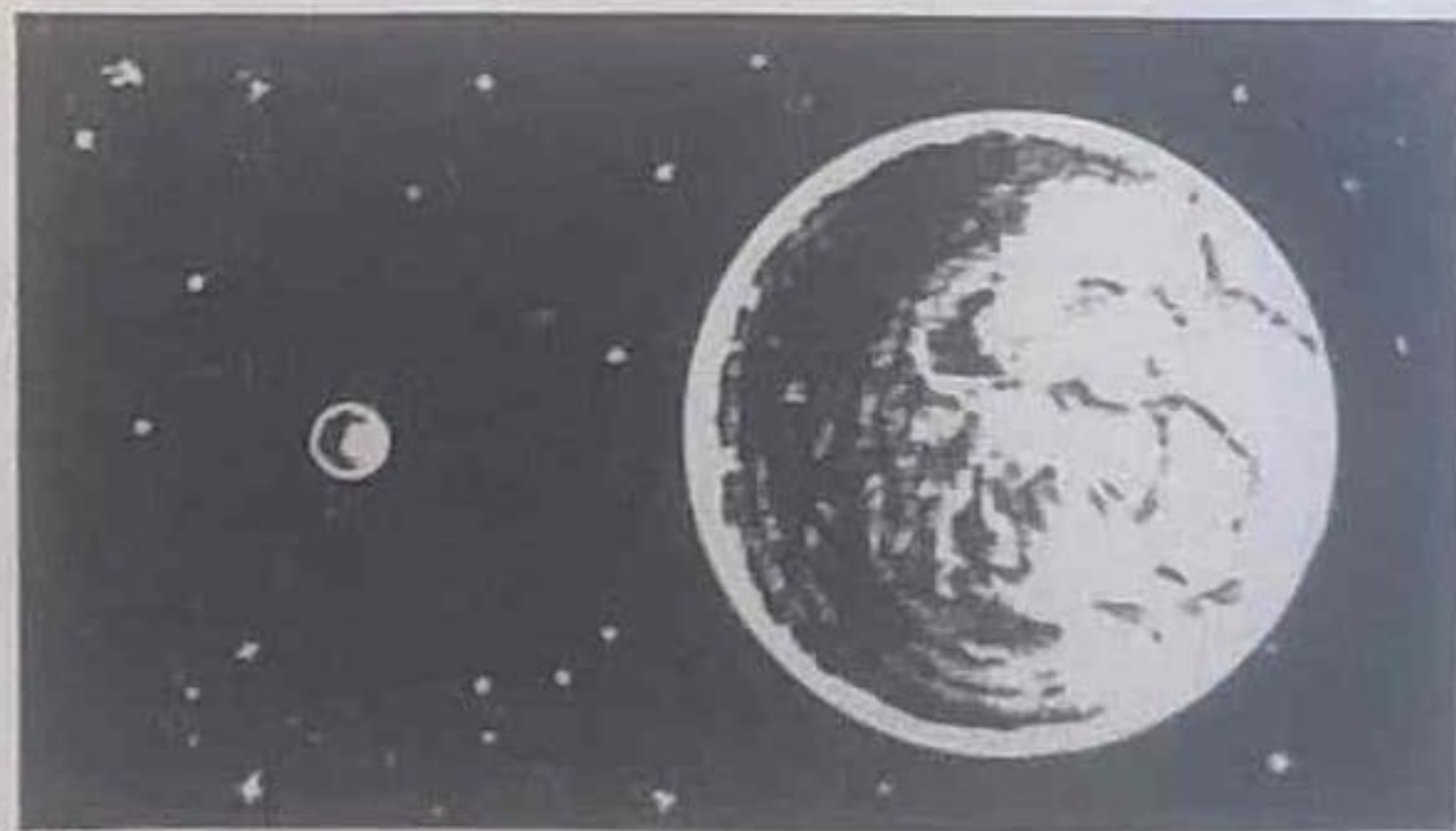
inconsce di questi terribili nomi, Fobos e Deimos rischiarano con la loro blanda e innocente luce il cielo notturno di Marte.

Giove

Sorvoliamo la zona dei pianetini; ecco ora Giove, il gigante della famiglia planetaria, alla distanza di 777 milioni di chilometri dal Sole. A causa di questa grande distanza, l'anno di Giove è molto più lungo del nostro; precisamente esso dura dodici anni terrestri; cioè se quel tale ragazzo di 16 anni, che trasportato su Mercurio avrebbe l'età di 70 anni, fosse trasportato su Giove, si troverebbe ricacciato indietro a un piccolo bimbo di meno di un anno e mezzo; non esageriamo, vero?

E poi, a parte il fatto che su Giove esso sprofonderebbe nel corpo molle del pianeta, che è quasi denso come il Sole, cioè molto meno denso della Terra, credo che avrebbe anche il capogiro; perchè questo enorme globo che impiega dodici dei nostri anni a girare intorno al Sole, gira rapidissimo intorno a se stesso: meno di dieci ore per un giro completo; cinque ore di giorno e cinque ore di notte.

Un enorme globo fluido con una atmosfera carica di spessi vapori e una temperatura superficiale di 100 gradi sotto zero (a causa della grande distanza dal Sole); ecco le condizioni su questo pianeta gigante. Evidentemente non sono queste le condizioni favorevoli al sorgere e al mantenersi della vita.

Dopo che Galileo, in quella celebre sera di gennaio del 1610, ebbe scoperto i quattro satelliti di Giove, gli astronomi hanno continuato a osservare questo pianeta con cannocchiali sempre più potenti; sono state così scoperte altre sette lune di Giove: in-

LA TERRA E GIOVE

torno a questo pianeta girano perciò undici satelliti. Naturalmente quelli scoperti da Galileo sono i più grandi: il maggiore che ha ricevuto il nome di Ganimede, ha un volume che è quasi il doppio del volume di Mercurio! Ecco perciò un satellite che ha l'importanza di un vero pianeta. Gli altri satelliti sono di dimensioni molto più modeste: il più piccino ha un diametro di soltanto 40 chilometri.

Undici lune! Che spettacolo meraviglioso deve offrire di notte il cielo di Giove!

Saturno

Naturalmente dopo che Galileo col suo nuovo cannocchiale ebbe osservato Giove scoprendo un sistema solare in miniatura là dove credeva esistesse soltanto un corpo celeste, rivolse altrove la sua attenzione. Guardando Saturno, gli parve di osservare nel suo aspetto qualche cosa di bizzarro; e allora annunciò tale scoperta nel seguente modo:

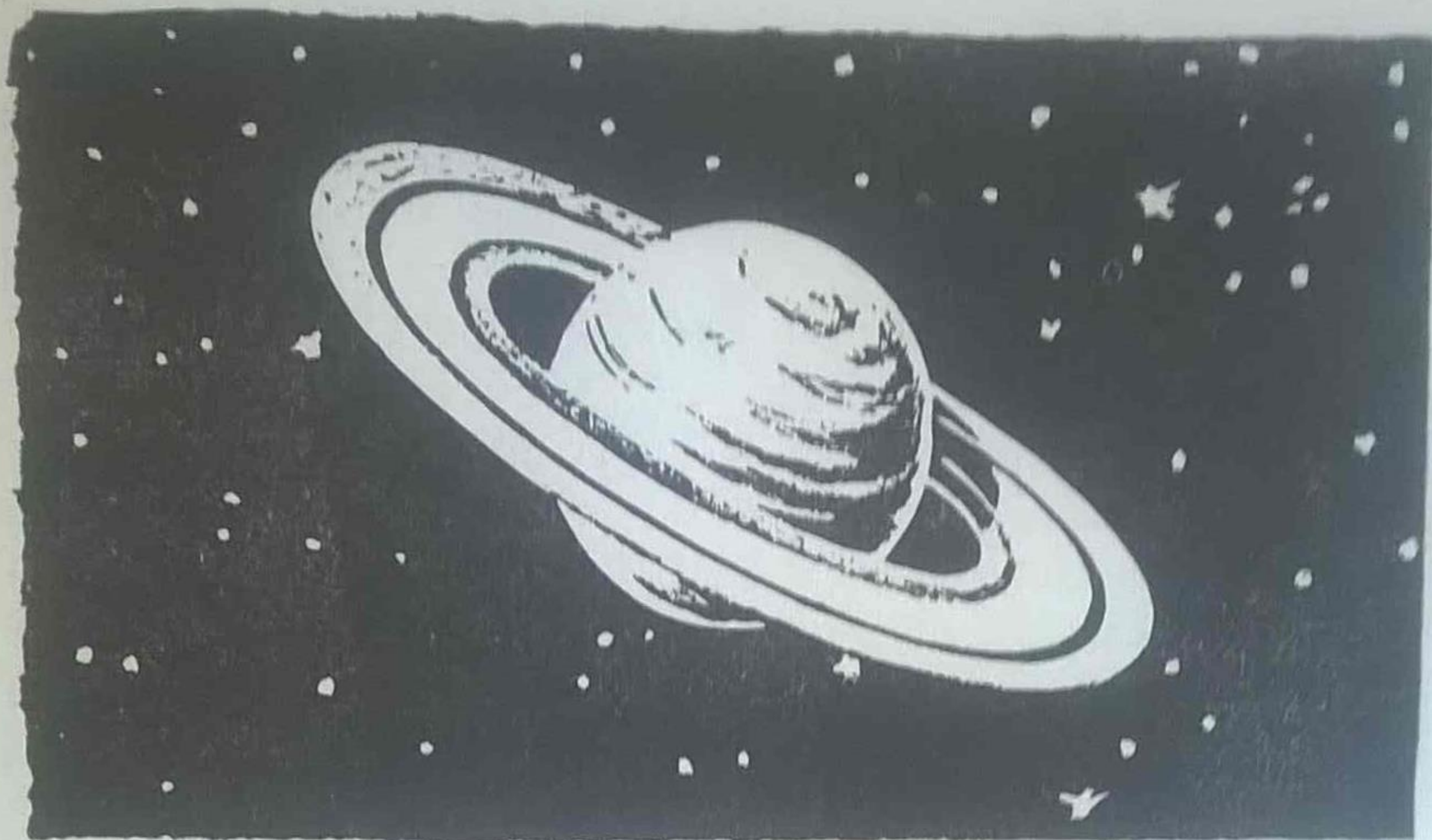
Smaisnermiclmbpobtalevmibvneuvgttaviras

Sarete meravigliati; ma che volete? A quei tempi i dotti avevano qualche volta modi molto strani per pubblicare le loro scoperte; e ne vedrete ora un altro esempio. Naturalmente nessuno capì che cosa fosse questa strana scoperta e allora Galileo mise in ordine quel caotico succedersi di lettere in modo da formare la frase latina:

Altissimum planetam tergeminum observavi

il che, vuol dire: ho osservato che il pianeta più alto è trigemino.

Con l'espressione « pianeta più alto » egli indicava Saturno che era allora il più lontano dal Sole che si conoscesse; dunque egli aveva osservato che Saturno sembrava accompagnato da due altri corpi, che parevano toccarlo, posti uno a oriente e l'altro a occidente, i quali sono come « due servitori che aiutano il vecchio Saturno a percorrere il suo cammino ».

Dopo aver dato questa spiegazione continuò a osservare Saturno, ma non riuscì mai più a vedere i due servitori; si scoraggiò e ci rinunciò.

Nove anni dopo, un grande fisico olandese, Huyghens, osservò accuratamente lo strano pianeta con un cannocchiale più potente; e pubblicò la sua scoperta nel seguente modo:

aaaaaa, cccc, d, eeeee, g, h, iiiiii, lll, mm, nnnnnnnnn, oooo p, q, rr, s, ttttt, uuuu.

Era proprio una fissazione!

In verità non so se i contemporanei si preoccupassero molto di sciogliere questo enigma; in tutti i modi l'illustre fisico ebbe la costanza di lasciare il problema insoluto per tre anni; e soltanto allora ne diede la spiegazione: quell'anagramma voleva dire:

Annulo cingitur tenuo, nusquam cohaerente, ad eclipticam inclinato.

Cioè: è circondato da un leggero anello, che mai lo tocca, inclinato sulla eclittica.

Ed è questo il segreto di Saturno, che fa di questo pianeta visto al cannocchiale uno dei più belli spettacoli del cielo. Osservando più accuratamente e con strumenti più potenti, si vede che in realtà questo anello è come suddiviso in diversi anelli più o meno luminosi. Questo sistema di anelli, che comincia a

una distanza di circa 12.000 chilometri dalla superficie del pianeta, si estende fino a circa 59.000 chilometri.

Di che cosa è costituita questa strana corona? Essa non è che un agglomerato di tante particelle più o meno piccole che ruotano tutte intorno a Saturno.

Scortato da questi anelli e da dieci lune (!!) Saturno ruota intorno al Sole alla distanza di circa 1.426 milioni di chilometri; è un grande pianeta il cui diametro è nove volte più grande del diametro della Terra e la cui densità è minore della densità dell'acqua. A causa della sua grande distanza dal Sole, esso riceve soltanto la novantesima parte del calore e della luce che riceve la nostra Terra. Non sembra possibile che su Saturno possa esistere la vita, sotto qualsiasi forma possiamo pensarla.

Come Giove, Saturno ruota intorno a se stesso rapidissimamente, in soltanto 10 ore e 14 minuti; un suo anno comprende venticinquemila giorni, il che darebbe luogo all'inconveniente di essere costretti a usare calendari troppo voluminosi.

Saturno, gli anelli e dieci lune...; è tutto un enorme mondo che appare a noi come una piccola curiosità tra gli innumerevoli corpi celesti.

Urano

Ed ecco Urano, che ruota a 2.868 milioni di chilometri dal Sole.

Per qualche tempo dopo la sua scoperta, questo pianeta non fu considerato pianeta ma cometa; da tanti secoli ormai si credeva che Saturno fosse il pianeta più distante dal Sole, che Guglielmo Herschel, che nel 1781 con l'aiuto della sorella Carolina scoprì Urano, non fu abbastanza ardito da allargare subito quel vecchio confine del sistema solare e di ribellarsi a questa idea tanto più tirannica quanto più antica. Perciò annunciò di avere scoperto una nuova cometa.

Ma questa nuova cometa si ribellava a tutti i calcoli e a ragione: non poteva seguire la traiettoria che sarebbe stato logico seguisse una cometa, per la semplice ragione che era un pianeta. Da questa evidenza gli astronomi furono costretti ad

allargare i confini del sistema solare e il Sole acquistò così un nuovo figlio: in questo modo il raggio del sistema solare si allungò di 1442 milioni di chilometri e ancora più crescerà poi con la scoperta dei due pianeti più esterni.

Urano è il primo pianeta dal quale la nostra Terra è invisibile, naturalmente per occhi umani; anzi di tutti i pianeti posti tra Urano e il Sole, soltanto Saturno potrebbe vedersi da Urano come una piccola stella del mattino e della sera; invece, a causa della loro enorme distanza dal sistema solare, le costellazioni sono per Urano quello che sono per noi.

Per Urano perciò e per i due pianeti più esterni e per tutto il rimanente dell'Universo, la nostra Terra non esiste; è forse questa una considerazione un po' triste per il nostro orgoglio ma è anche una giusta lezione per chi per tanti secoli ha voluto porsi nel centro dell'Universo.

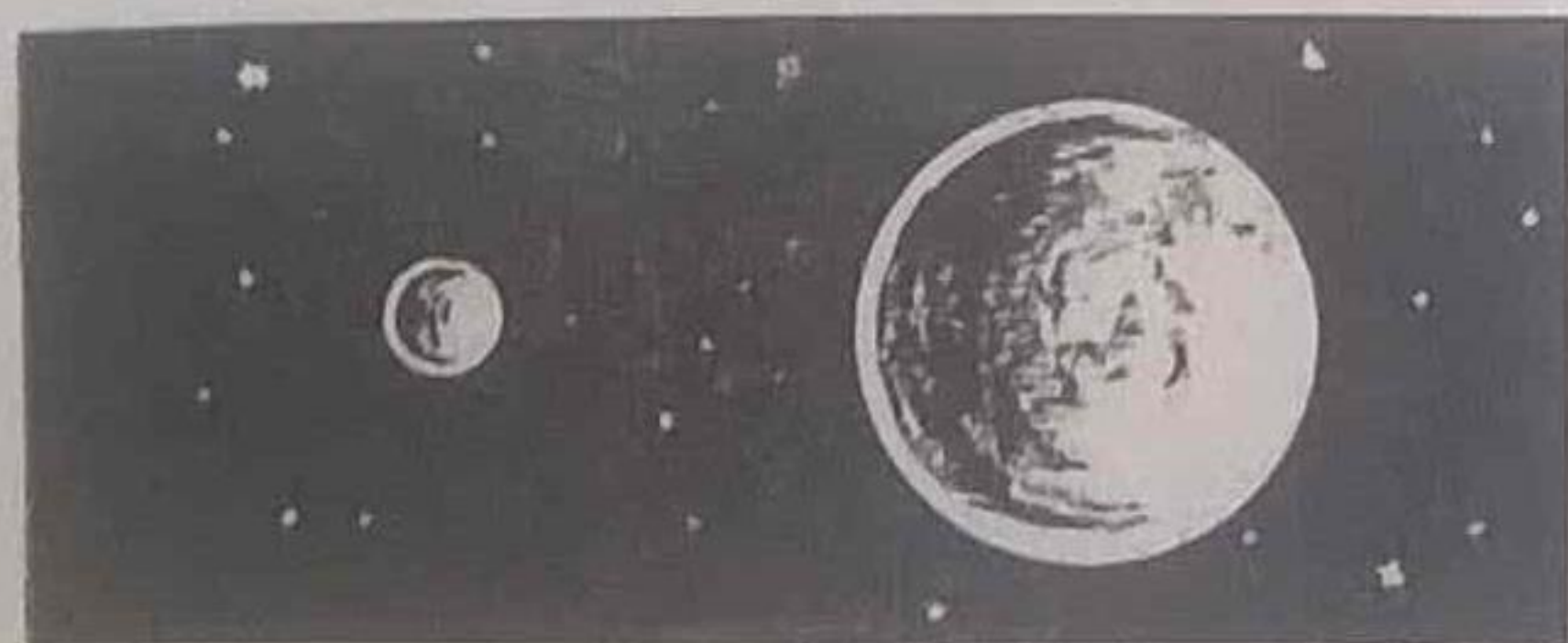
Nettuno

Appena fu ammesso che Urano era un pianeta, ne fu subito calcolata l'orbita, che esso poi seguì fedelmente fino al 1834, anno in cui cominciò a scostarsi dalla traiettoria assegnatagli; si trattò prima di una piccolissima differenza (soltanto 20 secondi di grado) che però di anno in anno andò sempre crescendo; nel 1846 era già di 128 secondi di grado! Si trattava di una differenza assolutamente intollerabile.

L'orbita di Urano era stata, al solito, calcolata applicando la legge di Newton e noi sappiamo che, secondo questa legge, l'unica causa che possa modificare il cammino ellittico di un pianeta intorno al Sole è la presenza di un altro pianeta.

LA TERRA E NETTUNO

Allora il giovane matematico Le Verrier si mise al tavolino e, con pazien-

za calcolò quale orbita avrebbe dovuto percorrere Urano intorno al Sole, tenendo conto delle perturbazioni prodotte dalla presenza dei due pianeti Saturno e Giove; ma anche questa orbita così calcolata non era quella che effettivamente Urano descriveva nel cielo.

Allora si presentarono soltando due modi per spiegare questa differenza: o la legge di Newton non era esatta o esisteva un altro pianeta ancora più lontano dal Sole la cui forza di gravità, agendo su Urano, ne modificava la traiettoria.

Ma la legge di Newton era stata controllata da un tal numero di osservazioni che pareva assurdo doverne dichiarare ora la non esattezza; ecco perchè Le Verrier sceglie l'ipotesi della esistenza di un altro pianeta esterno a Urano il quale lentissimamente ne modifica il cammino; e determina quali debbano essere la traiettoria e la posizione di questo pianeta sconosciuto perchè la sua forza di gravitazione possa portare alla traiettoria di Urano quella perturbazione che era stata osservata; e il 18 settembre 1846 annuncia che il pianeta sconosciuto deve trovarsi circa alla longitudine di 326 gradi e 32 minuti di grado.

Chiunque altro la notte seguente si sarebbe precipitato a un cannocchiale del più vicino osservatorio per cercare questo nuovo pianeta; ma il giovane matematico era più sicuro della sua matematica che dei suoi occhi: il pianeta doveva trovarsi là dove i suoi calcoli lo avevano posto ed egli non si scomodò a cercarlo. Un mese più tardi scrisse ad un astronomo dell'osservatorio di Berlino pregandolo di cercare il pianeta; la sera stessa questo scienziato (più curioso di lui) puntò il cannocchiale verso il punto indicato e il pianeta Nettuno fu così riconosciuto per la prima volta da occhi umani.

Esso si trovava alla longitudine di 327 gradi e 24 minuti di grado; il calcolo aveva fornito la sua posizione con l'approssimazione di un grado! È questa la storia meravigliosa della scoperta del nuovo pianeta al quale fu dato il nome di Nettuno, dio del mare.

La figura a pagina precedente dà un'idea delle dimensioni relative di Nettuno e della Terra; esso è, in ordine di grandezza, il terzo dei pianeti, dopo Giove e Saturno. A causa

della sua grandissima distanza dal Sole (4494 milioni di chilometri) il suo anno ha la durata di 164 anni terrestri e 288 giorni!

Nettuno possiede, come la Terra, una sola Luna che è però più grande del pianeta Marte.

Plutone

E la storia si ripetè. Continuando le osservazioni, gli astronomi si accorsero che non tutte le anomalie del pianeta Urano erano spiegate dalla presenza di Nettuno; nel 1915 fu predetta l'esistenza di un altro pianeta, ancora più lontano dal Sole. Ma fu cercato inutilmente per quindici anni; esso è troppo piccolo e troppo poco brillante perchè occhio umano possa scoprirlo. Soltanto nel 1930 fu trovato con l'aiuto della fotografia; questa scoperta non soltanto accrebbe la confidenza degli astronomi nelle loro leggi, ma costituì anche un trionfo dei moderni metodi di ricerca.

Questo ultimo pianeta, che in 250 anni gira intorno al Sole alla enorme distanza di 6.400 milioni di chilometri, ha circa le dimensioni della Terra ma è il più denso di tutti i pianeti. È questo piccolo corpo denso che veglia solitario ai lontani confini del nostro sistema solare.

TAVOLA IV

La Luna piena con i monti, i cosiddetti mari e i crateri (*Lick Observatory*).

Le comete e le stelle cadenti

Strettamente parlando, la famiglia solare è, come sappiamo, composta soltanto dal Sole, dai pianeti e dai satelliti. Di questa famiglia fanno però parte anche le comete e le stelle cadenti.

Le *comete*, soggette anch'esse alla forza di gravitazione del Sole, seguitano a girargli intorno percorrendo orbite lunghissime: esse quindi tornano periodicamente alla nostra vista.

Le cosiddette *stelle cadenti*, invece, potrebbero proprio chiamarsi i nostri amici sfortunati; esse infatti, passando accanto alla Terra, vengono prese dalla forza di attrazione di questo pianeta, entrano nella nostra atmosfera, si riscaldano per l'attrito contro le particelle d'aria e così muoiono consumate; talvolta qualche frammento dei loro corpi viene raccolto sulla nostra Terra: è un *meteorite*. Se avete un animo poetico potete pensare che questi disgraziati amici siano giovani che, venendo in una casa, si innamorano di una bella fanciulla della famiglia (la bella fanciulla sarebbe la Terra), sono attratti da essa e si consumano per questo

amore: fine piuttosto rara, per fortuna, per gli amori terrestri.

Dunque le comete e le stelle cadenti sono i membri aggiunti del sistema solare. Permettetemi di dirvi qualche parola su ognuno di essi.

Le comete

L'improvvisa apparizione nel cielo di una scapigliata cometa, con la sua insolita forma e la sua coda luminosa spesso immensa, sembra cosa tanto contraria alla maestosa uniformità dei movimenti celesti, che non è poi tanto da meravigliarsi che, per quella solita alleanza della ignoranza e dalla paura, si sia sempre attribuito ad esse un presagio funesto: morti, pestilenze, guerre. Ora guerre in qualche parte del mondo ve ne sono sempre state: quindi ogni cometa, anche piccola, ha trovato pronta una qualche guerra che le è stata senz'altro attribuita; di conseguenza maledizioni alla innocente cometa, capro espiatorio per qualche molto altolocato colpevole puramente terrestre.

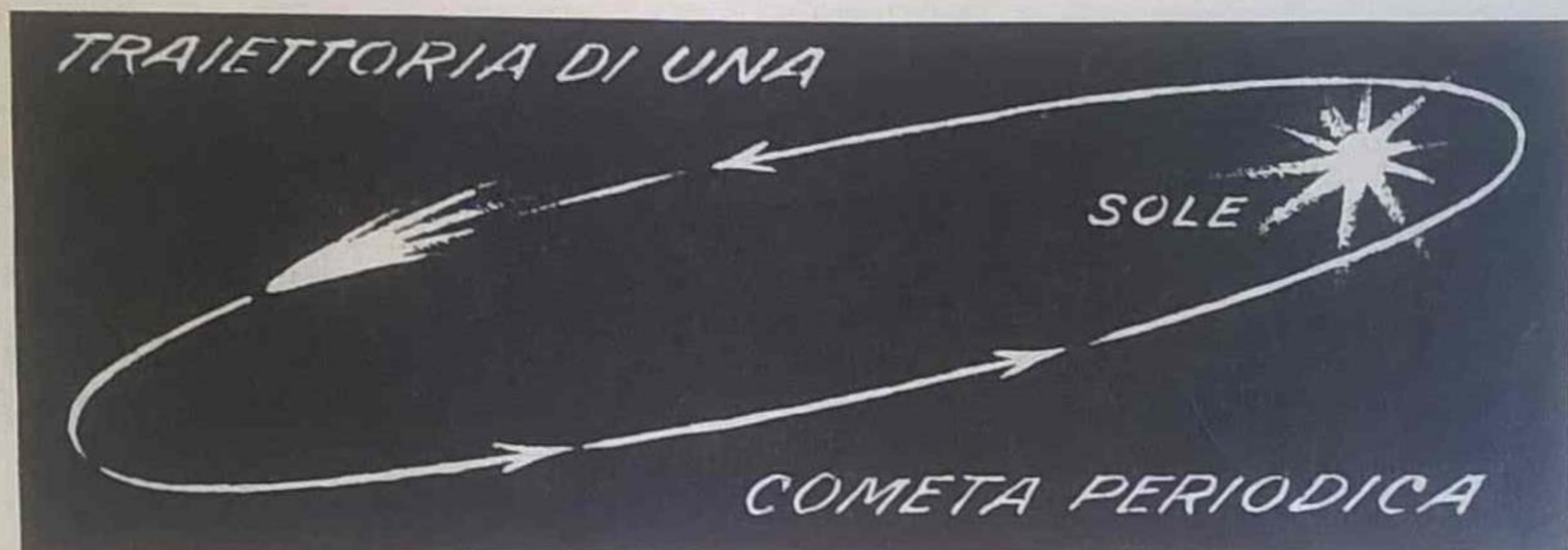
Questa pazza e irriflessiva paura delle comete sarebbe cessata soltanto il giorno in cui fossero state trovate *le leggi* di questi strani corpi celesti; in cui, cioè, fosse stato trovato *come* esse si muovono nello spazio, determinando la loro traiettoria. Vinta l'ignoranza, vinto il terrore.

Fu proprio questo che Isacco Newton, con quello strumento potentissimo che era la sua teoria della gravitazione universale, fece all'apparizione della grande cometa del 1680.

Le comete, alcune delle quali così luminose da essere visibili a occhio nudo anche nella luce crepuscolare o perfino in pieno giorno, si muovono in orbite ellittiche molto allungate; tanto allungate che mentre il punto della traiettoria che si trova più vicino al Sole può trovarsi addirittura entro l'orbita di Mercurio, il punto più lontano può essere molto al di là dell'orbita di Plutone.

Le comete che non si allontanano esageratamente dal Sole sono le *comete periodiche*, nostri amici affezionati, i quali ritorna-

no periodicamente a farsi vedere. Esistono poi le *comete non periodiche*, cioè le comete che finora sono state osservate in una sola apparizione e che non sono più ricomparse; fino a non molto tempo fa si credeva che queste comete non periodiche arrivassero dagli spazi interstellari e, dopo aver girato intorno al Sole sotto l'influenza della sua forza di attrazione, se ne allontanassero sempre più abbandonando il sistema solare e ritornando negli spazi

TRAIETTORIA DI UNA COMETA PERIODICA

interstellari; si credeva, cioè, che queste comete seguissero un'orbita parabolica. Ma eseguendo un calcolo più rigoroso in cui si è tenuto conto di tutte le possibili influenze che la cometa subisce durante il suo viaggio, si è trovato che non esiste nemmeno una cometa che abbia un'orbita sicuramente parabolica.

Il più noto dei nostri amici affezionati

Il nostro amico più affezionato è la cometa di Encke che circa ogni 3 anni ritorna alla minima distanza dal Sole; se ne conoscono poi una ventina che hanno un periodo tra i 5 e i 10 anni.

Ma la cometa periodica più conosciuta è la grande cometa di Halley, così chiamata dal nome di un astronomo amico e collaboratore di Newton; egli, studiando il moto delle comete, si accorse che la cometa del 1680 per la sua traiettoria e la sua velocità somigliava tanto a due comete apparse nel 1531 e nel 1607

da doverne senz'altro concludere che si trattava sicuramente della stessa cometa, la quale doveva avere un periodo di circa 76 anni: essa doveva quindi riapparire verso il 1759.

Per stabilire esattamente la data della ricomparsa era necessario eseguire una quantità di calcoli veramente spaventosa; ma non si spaventarono due matematici (uno dei quali era una donna) i quali si misero disperatamente al lavoro, e, dopo sei mesi di lavoro ininterrotto, annunciarono che la cometa sarebbe riapparsa nel 1759 e che precisamente alla metà di aprile si sarebbe trovata nel punto della sua traiettoria più vicino al Sole: avvertirono anche che il calcolo dava una imprecisione di circa un mese.

...È LA GRANDE COMETA DI HALLEY..

Non è esagerato dire che tutta l'Europa fu messa in curiosità da questa predizione scientifica: e la cometa riapparve, seguì il cammino che gli astronomi le avevano tracciato e il 12 marzo del 1759 si trovò nel punto più vicino al Sole: la predizione si era avverata e quell'anno un astronomo scrisse: « L'universo vede quest'anno il fenomeno più soddisfacente che l'astronomia ci abbia mai presentato ».

In onore dello scienziato che l'aveva studiata, questa cometa ricevette il nome di cometa di Halley. Se si pensa che a quei tempi si credeva che l'orbita del pianeta Saturno segnasse il confine del sistema solare, si comprende quale audacia fu necessaria per lanciare un corpo celeste, appartenente al sistema solare, tanto di là da questo confine.

La cometa di Halley è puntualmente ricomparsa nel 1910: da allora si è allontanata dal Sole e ora sta percorrendo la parte più estrema della sua orbita, laggiù nelle tenebre gelate dello spazio.

La rivedremo verso il 1986: la rivedremo? Ve lo auguro di cuore.

Come è fatta una cometa

Un giorno fu chiesto a Keplero: « Quante comete vi sono nel cielo? »; l'illustre astronomo rispose: « Tante, quanti pesci vi sono nell'Oceano ». Questa risposta era forse un po' esagerata perchè le comete finora scoperte sono circa un migliaio. Ma se il numero delle comete è grande, ben poche sono quelle visibili a occhio nudo; l'enorme maggioranza di esse può essere vista soltanto con l'aiuto di un cannocchiale.

L'unica cometa periodica che possa essere vista a occhio nudo è la cometa di Halley; le altre non eccitano tanto la curiosità del pubblico per la semplice ragione che nessuno le vede; soltanto gli astronomi le osservano, studiano il loro moto, ne determinano la traiettoria e le epoche del loro riapparire.

Di solito qualunque cometa è formata da una *testa* e da una *coda* più o meno lunga; si videro comete la cui coda si estendeva fino a metà della sfera celeste; si videro anche comete con più di una coda: per esempio la cometa del 1744 aveva ben sei code!

La *testa* è formata da un *nucleo* circondato da una nebulosità: si crede che questo nucleo sia costituito da un grandissimo numero di piccoli corpi solidi (come dire un grandissimo numero di sassi più o meno grandi); nella nebulosità che circonda questo nucleo, e che si prolunga poi nella coda, è stata riconosciuta la presenza di gas velenosi, come il cianogeno e il monossido di carbonio. Ma questi gas sono così rarefatti che anche se la Terra si trovasse investita in pieno dalla coda di una cometa, non ne verrebbe nessun danno ad alcuno dei suoi abitanti.

...AVEVA BEN SEI CODE!

Probabilmente durante la corsa di una cometa la sua coda semina nella scia una certa quantità dei gas che la compongono; infatti le comete periodiche più vecchie hanno code molto piccole o non ne hanno affatto: esse sono calve come i vecchi amici di famiglia.

La vita avventurosa di una cometa

Qualche volta nella vita di una cometa accadono fatti molto strani. Ecco l'avventurosa vita della cometa di Biela.

Nel 1827 un astronomo francese, studiando il movimento di una piccola cometa che era stata scoperta dall'astronomo Biela qualche giorno prima, si accorse che la sua traiettoria coincideva con quella di due altre piccole comete che erano apparse nel 1772 e nel 1805; si trattava certamente di una cometa periodica, alla quale fu dato il nome di « cometa di Biela », in onore del suo scopritore; e stabilì anche che essa compiva il suo moto intorno al Sole in sei anni e mezzo. Si trattava dunque di un amico modesto e assiduo.

Essa ritornò puntualmente nel 1832, nel 1839 ed eccola ancora il 25 gennaio 1845 là, fedelmente, al posto che il calcolo le assegnava; nessuno se ne occupava e soltanto gli astronomi la seguivano nel suo moto; tutto procedeva tranquillamente quando a un tratto il 13 gennaio 1846 la cometa si spezzò in due! E da allora invece di una sola cometa, se ne videro due che continuarono a viaggiare nello spazio come due sorelle, ciascuna con la sua testa, con il suo nucleo e con la sua coda; piano piano però esse andavano allontanandosi l'una dall'altra e così scomparvero. Puntualmente ricomparvero nel settembre del 1852 ma molto più lontane l'una dall'altra.

La storia però non è ancora finita; dopo la comparsa del 1852, la cometa, anzi le comete di Biela non tornarono più all'appuntamento; per quante ricerche se ne facessero esse non si videro nè nel 1859, nè nel 1866, nè nel 1872. Il tradimento di un amico che si crede fedele non è, tra gli uomini, una cosa tanto rara; ma da parte di un corpo celeste... via! nessuno se lo sarebbe aspettato!

E ormai ogni speranza sembrava perduta; gli astronomi misero il cuore in pace e nessuno ci pensava più quando la sera del 27 novembre del 1877, verso le diciannove, la Terra fu letteralmente investita da una vera nevicata di stelle cadenti: cadevano proprio a larghe falde e il cielo era intersecato in tutti i sensi da strisce luminose: uno spettacolo veramente superbo. Da calcoli sommari si pensa che il numero totale di stelle cadenti fu in

...IL CIELO ERA INTERSECATO...

quella notte di centosessantamila! Lo spettacolo finì all'una del mattino: una nevicata di cinque ore.

Quale fu la causa di un così straordinario fenomeno? Evidentemente la Terra, in quella memorabile sera, incontrò una miriade di corpuscoli che si muovevano insieme nello spazio. Ora, se la cometa di Biela fosse ancora esistita, sarebbe passata dodici settimane prima di quel memorabile 27 novembre; evidentemente quindi quella pioggia di stelle cadenti non fu che la conseguenza dell'incontro della Terra con una parte delle membra disperse della cometa, le quali, dopo la prima separazione della cometa in due, si saranno disperse all'indietro, lungo l'orbita di questo nostro defunto amico.

E qui finisce l'avventurosa vita della piccola cometa di Biela.

Le stelle cadenti e i meteoriti

Se la straordinaria pioggia di stelle cadenti del 27 novembre del 1877 fu uno spettacolo eccezionale, vedere una stella cadente è cosa molto comune; una stella sembra staccarsi dal cielo, attraversa silenziosamente una parte del firmamento e scompare.

« Stella cadente » è certamente un nome molto poetico; però, per quanto poetico, è un nome inesatto. Non è una stella che cade ma semplicemente un frammento solido il quale, attraversando la nostra atmosfera, si riscalda strofinando velocemente contro le particelle di aria; diventa incandescente, brucia e si consuma. Se il frammento è piccolo, si consuma del tutto prima di giungere a terra; se invece è abbastanza grosso, i suoi resti cadono al suolo.

Sono particelle solide vaganti negli spazi tra pianeta e pianeta e che, entrate nella sfera di attrazione della Terra, si precipitano verso il nostro suolo, consumandosi lungo il cammino.

Il numero di stelle cadenti, che si chiamano anche *meteore*, è tutt'altro che trascurabile; almeno 20 milioni di questi piccoli corpi entrano ogni ventiquattro ore nella atmosfera terrestre! Ma non c'è da aver paura: di questo enorme numero di meteore soltanto una al giorno, in media, riesce a raggiungere la superficie della Terra; le rimanenti si dissolvono nella atmosfera prima di toccare il suolo lasciando soltanto una scia di gas che presto si disperde. E se pensiamo che i due terzi della superficie della nostra Terra sono coperti dal mare, ritorniamo subito a passeggiare tranquillamente senza timore di ricevere da un momento all'altro sulla testa una di quelle stelle cadenti molto poetiche ma poco piacevoli.

Vi sono però alcuni periodi fissi in cui il numero di meteore è molto maggiore del solito. Ricordate la poesia di Pascoli intitolata *10 agosto*?

San Lorenzo, io lo so perchè tanto
Di stelle nell'aria tranquilla
Arde e cade, perchè sì gran pianto
Nel concavo cielo sfavilla.

La sera di San Lorenzo, infatti, il 10 agosto, si assiste sempre alla caduta di un gran numero di stelle cadenti; e così accade anche il 20 ottobre, il 14 novembre e il 10 dicembre.

Da che cosa è originato questo ritorno periodico di sciami di stelle cadenti? Evidentemente esistono alcune correnti di piccoli corpi solidi i quali girano intorno al Sole su orbite ellittiche; una volta all'anno, nella sua corsa intorno al Sole, la Terra attraversa queste correnti meteoriche. Una viene attraversata la sera del 10 agosto, un'altra il 20 ottobre, un'altra il 14 novembre, ecc.

Il nostro pisellino che attraversa una corrente di sassolini, ecco tutto: ma basta questo perchè una fanciulla sogni guardando le tracce luminose delle stelle cadenti e perchè un triste poeta veda in esse un pianto del Cielo « infinito e immortale » su questo nostro « atomo opaco del Male »: la realtà, il sogno, la poesia.

Quando una stella cadente è tanto grande che non si consuma tutta nell'attraversare l'atmosfera terrestre, cade al suolo: è questo

un *meteorite*. Come già ho detto, in media giunge sulla superficie della Terra un meteorite al giorno. Se ne sono trovati di tutte le grandezze: polveri di meteoriti sono cadute sul ponte di una nave che attraversava l'Oceano Indiano, corpuscoli ferruginosi sono stati raccolti sulle nevi del Monte Bianco e non passa anno che non si raccolgano qua e là meteoriti più o meno grandi, qualche volta infrantisi sulle rocce, qualche volta sprofondati nel suolo. Un grande meteorite cadde nell'Africa Meridionale, presso Grootfontein; era tanto imponente che ricevette un nome tutto suo: fu chiamato « la Hoba »; le sue dimensioni erano di metri $2{,}95 \times 2{,}88 \times 1{,}22$ e pesava circa 60 tonnellate. Se fosse caduto su una città avrebbe potuto produrre una piccola ecatombe.

Possiamo ora dire di conoscere un po' tutti i membri di questa nostra piccola famiglia solare. Nessuno di essi si muove a caso: tutto è regolato da una stessa legge suprema, la legge della gravitazione universale: a essa ubbidisce il gigantesco Giove e ad essa ubbidisce la più piccola delle meteore che solcano il nostro cielo.

IL NOSTRO UNIVERSO VISIBILE

La Galassia

Nel lungo succedersi dei giorni della vita quotidiana, tutto nasce e si svolge su questa isola roteante nello spazio che è la Terra. Ma dal momento in cui ho cominciato la mia chiacchierata, abbiamo allargato i confini della nostra attività e ci siamo mossi liberamente nel più vasto ambito del sistema solare.

Di pianeta in pianeta siamo andati allontanandoci sempre più dal Sole fino al gelido Plutone e ancora più in là, seguendo l'orbita di qualche veloce cometa che ci ha già fatto volgere lo sguardo più lontano, fuori da quei confini che ora già ci sembrano angusti. Oggi ci sembra piccolo ciò che ieri ci sembrava immenso.

Abbandoniamo perciò ora il sistema solare, il Sole, i suoi pianeti, le comete e rivolgiamo il nostro sguardo al cielo stellato.

Le costellazioni

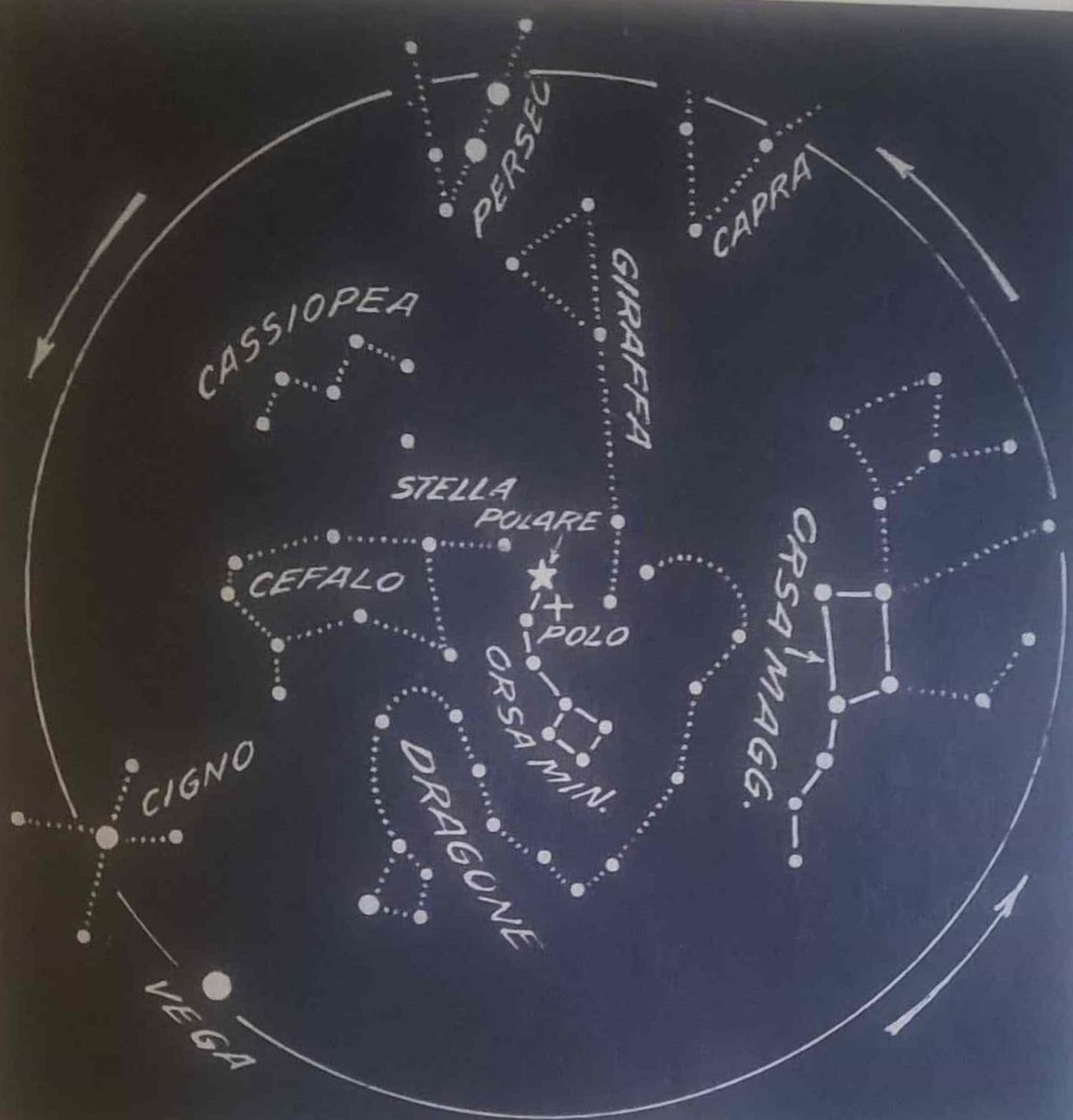
Facciamo ciò che tutti gli uomini hanno fatto fin dalla più remota antichità, ciò che fecero gli abitanti dell'Asia centrale, i Caldei, gli Egiziani, gli Ebrei, i Greci, i Romani... e volgiamoci a guardare il cielo stellato.

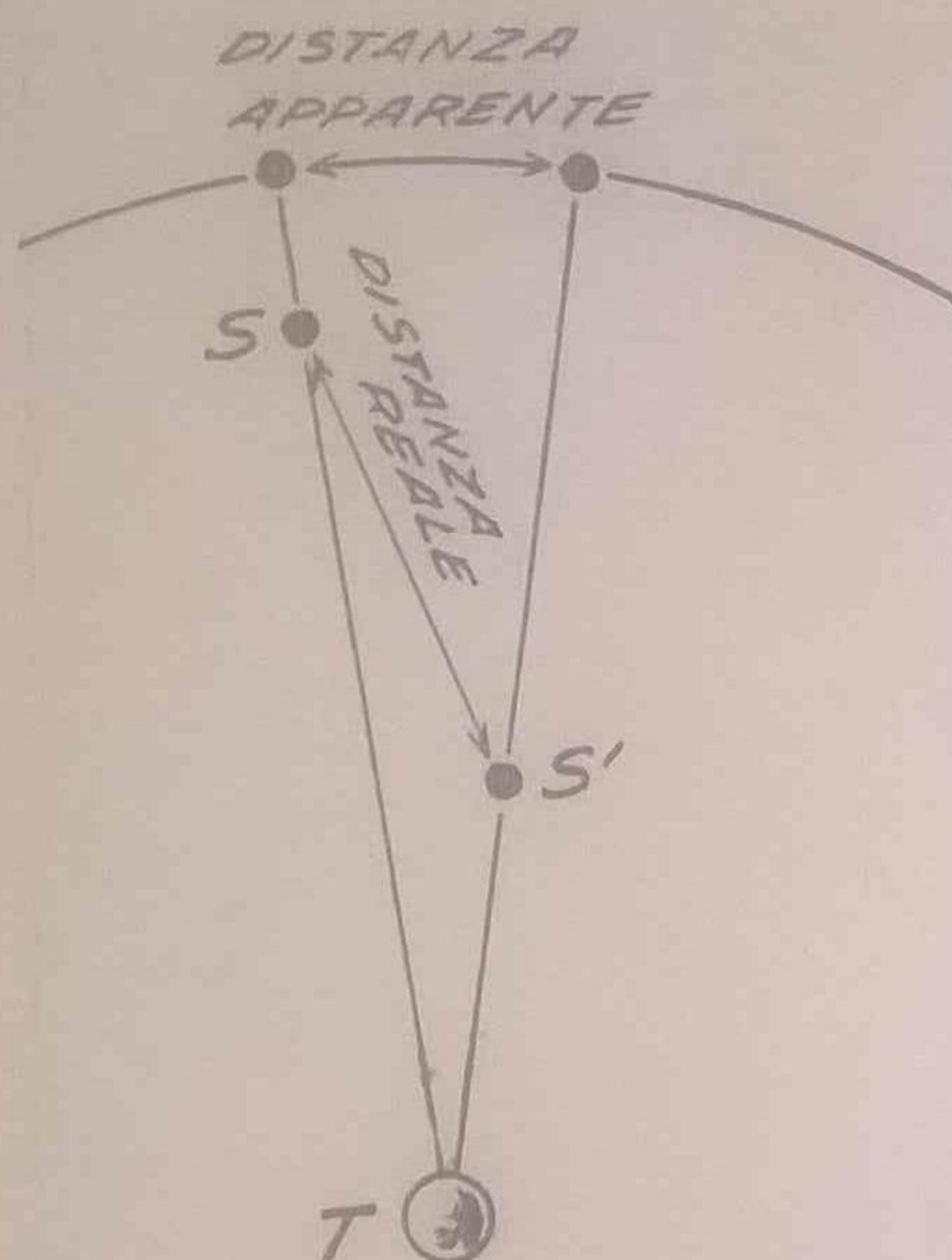
Lo sguardo dei nostri antichi antenati, come ancor oggi il nostro, si fermò di preferenza sulle stelle più brillanti, le quali sembrano formare nel cielo alcuni gruppi che hanno le forme più varie. Alla fervida fantasia di questi antenati queste forme richiamarono alla ménte animali, persone in varie posizioni, oggetti della vita quotidiana; e di conseguenza essi diedero a questi gruppi nomi di animali, di eroi, di oggetti. Ed ecco la costellazione della Bilancia, della Freccia, della Corona, del Microscopio e della Macchina Pneumatica; ecco Ercole, Perseo, Cassiopea, Orione; ecco l'Orsa maggiore, l'Orsa minore, il Dragone, il Serpente, il Toro, il Cigno, il Leone, i Pesci, la Lince, la Giraffa, ecc. ecc. Il regno animale vi è ampiamente rappresentato, come avete visto da questo piccolo esempio; anzi credo che esistano ben poche bestie che non abbiano in cielo la loro costellazione: troverete in cielo persino la Lucertola, il Pesce volante e l'Uccello del paradiso.

Secondo le ultime decisioni dell'Unione Astronomica Italiana, il numero complessivo delle costellazioni è 86: 27 costellazioni a nord dello Zodiaco, 12 costellazioni zodiacali e 47 a sud dello Zodiaco.

Ancora oggi la storia delle costellazioni non è interamente nota; si può però dire che per le stelle visibili nell'Europa Meridionale le nostre costellazioni sono dovute all'Antica Grecia. Già Omero, nel nono secolo avanti Cristo, conosceva l'Orsa maggiore, Orione, Boote, le Pleiadi, le Iadi; e nel quarto secolo avanti Cristo, Eudosso di Cnido diede una descrizione completa delle costellazioni, di cui Arato (III sec. av. C.) fece nientedimeno che un poema, tradotto poi in latino da Cicerone.

Sembra oramai certo che i Greci, come anche gli Ebrei, abbiano appreso dai Caldei i primi elementi di astronomia, mentre invece meno importante sembra l'influenza che l'antico Egitto esercitò sull'astronomia greca; e a sostegno di ciò si osserva che nei simboli delle costellazioni mancano animali ben noti nell'antico Egitto, come l'ibis e il coccodrillo.

Le costellazioni però non sono che un gioco di prospettiva. Noi, da questo nostro osservatorio che è la Terra, vediamo tutte le stelle come chiodi più o meno splendenti infissi su una superficie sferica concava che chiamiamo cielo; ma in realtà non esiste nulla di tutto ciò; non esiste la superficie sferica concava e non esistono

LE PRINCIPALI COSTELLAZIONI CHE CIRCONDANO IL POLO NORD

stelle fissate su di essa. In tutte le direzioni esiste intorno alla Terra un vuoto immenso nel quale sono disseminate le stelle: soltanto per un semplice gioco di prospettiva noi le vediamo proiettate su una superficie concava. Quando perciò vediamo in cielo due stelle vicine, ciò non vuol dire senz'altro che esse siano realmente vicine nello spazio; può darsi benissimo che esse si trovino a un'enorme distanza l'una dall'altra e che, semplicemente, siano in posizioni tali che, viste dalla Terra, si proiettano in due

punti vicini del cielo. È quello che accade, per esempio, per le stelle S e S', della figura, viste dalla Terra T.

Quindi le costellazioni sono gruppi puramente apparenti di stelle; se la posizione della Terra nello spazio fosse diversa, la forma delle costellazioni sarebbe del tutto diversa.

Morale: l'apparenza inganna.

Non occupiamoci quindi più delle costellazioni e delle loro fallaci apparenze e rivolgiamoci alla realtà. Qual è la *reale* distribuzione delle stelle nello spazio?

La Galassia

Galileo Galilei con il suo telescopio fu il primo esploratore del sistema solare. E ciò che egli fece per questa nostra famiglia, i due astronomi Guglielmo Herschel e Giovanni Herschel, padre e figlio, fecero per quell'enorme gruppo di stelle di cui il nostro Sole fa parte; gruppo di stelle che comprende tutte le stelle visibili e che, usando un aggettivo derivato dal nome « Via Lattea », prende il nome di sistema galattico o Galassia. Guglielmo e Giovanni Herschel furono i primi esploratori del sistema galattico.

Nelle notti limpide e senza luna, noi vediamo la Via Lattea estendersi, come una fascia argentea, da un punto all'altro dell'orizzonte; la leggenda dice che essa è la traccia, lasciata nel cielo, di una goccia di latte sfuggita dal seno di Giunone.

Questo arco che noi vediamo, non è che la metà della Via

Lattea; se potessimo rendere trasparente la Terra, noi vedremmo la Via Lattea intera sotto forma di un gran cerchio luminoso che fa il giro completo della Terra e divide il cielo in due metà. Lo studio di questa dolce striscia luminosa, che uno spirito poetico ha chiamato « un sentiero sabbioso nel fiorito giardino celeste », permette di rispondere alla domanda che prima ci siamo fatti: come son distribuite le stelle nello spazio?

Se poniamo l'occhio a un cannocchiale rivolto verso un punto qualsiasi della Via Lattea, vediamo apparire centinaia di piccole stelle addossate le une alle altre; se facciamo scorrere lentamente dinanzi al nostro cannocchiale questo « sabbioso sentiero », vedremo scorrere dinanzi ai nostri occhi migliaia di stelle; se potessimo veder passare tutta la Via Lattea, ne conteremmo milioni e milioni.

La Via Lattea quindi non è che un agglomerato di un numero enorme di stelle poco luminose, talmente vicine le une alle altre che il loro chiarore si confonde; a occhio nudo non riusciamo più a distinguere l'una stella separata dall'altra, ma vediamo soltanto un arco dolcemente luminoso.

L'esistenza della Via Lattea è una prova che le stelle non sono distribuite uniformemente nello spazio; se infatti esse avessero una distribuzione uniforme, non dovrebbe esservi in cielo nessuna zona più densa di stelle delle altre. Quale è allora l'architettura del sistema stellare? Guglielmo Herschel si propose di determinare questa architettura; fu un lavoro immane, nel quale fu aiutato dal figlio e che fu poi completato da altri astronomi. Così, poco per volta, siamo giunti a conoscere come sono distribuite nello spazio tutte le stelle che vediamo sia a occhio nudo sia con i cannocchiali più potenti, siamo giunti cioè a conoscere quale è l'architettura del sistema stellare.

Le stelle non sono disseminate in tutto lo spazio infinito, ma si trovano raggruppate in uno spazio limitato. Immaginiamo che un uomo sia nato su una piccola isola posta in mezzo all'oceano e che esso non conosca l'esistenza di altre terre; egli vede intorno a sè l'eterno succedersi delle onde e il suo sguardo, fin dove può spingersi, non incontra che acqua. Naturalmente egli pensa che quel mare sia infinito, che in tutte le direzioni non sia che un eterno succedersi di acqua. Un giorno egli parte su questo mare e va

sempre diritto in una direzione; le onde si succedono alle onde e sempre il suo sguardo non incontra che acqua; ma, dopo molto navigare, un giorno la sua imbarcazione si arena su una spiaggia... La sua concezione crolla di colpo: il mare non è infinito ma è raccolto in uno spazio limitato, cioè in uno spazio che ha dei confini.

Noi siamo quell'uomo, la nostra Terra è quell'isola sperduta in mezzo all'oceano; partiamo sulla nostra imbarcazione, che si chiama « Fantasia », e muoviamoci in una direzione. Più tardi parleremo della velocità dell'imbarcazione e della lunghezza del viaggio; per ora accontentiamoci di guardarci intorno: stelle, sempre stelle. Le più brillanti si affievoliscono man mano che ci allontaniamo, altre si avvicinano, diventano sempre più brillanti: le sorpassiamo, si affievoliscono, scompaiono. Continueremo così eternamente? No: le stelle si fanno più rade, più rade ancora, non ve ne sono più: la nostra « Fantasia » naviga nel vuoto oscuro. Lo spazio in cui sono disseminate le stelle ha dei confini; tutte le stelle sono contenute, disseminate qua e là, nell'interno di questo spazio limitato. Esse formano un sistema stellare, il nostro sistema stellare, la Galassia.

Dallo studio della distribuzione delle stelle nel cielo, si giunge alla conclusione che questo sistema stellare non è sferico ma ha invece una forma che può sembrare strana. Immaginate un disco appiattito, qualche cosa come un orologio da polso; ingranditelo enormemente, tra poco vi dirò quanto; riempitelo di stelle, cioè di soli, alcuni grandi come il nostro Sole, moltissimi molto più grandi, pochi più piccoli, alcuni luminosissimi, altri poco luminosi; isolatelo nello spazio vuoto: ecco la nostra Galassia. Tutte le stelle che vediamo brillare nel cielo, tutte quelle che riusciamo a vedere col più potente cannocchiale, tutte quelle che i nostri più lontani nipoti vedranno con i loro più perfezionati strumenti, tutte queste stelle fanno parte di questo agglomerato che ha la forma di un disco appiattito.

L'imbarcazione di quell'ingenuo abitante dell'isola approdò un bel giorno a una spiaggia; era questo il confine di quell'oceano. La nostra « Fantasia » invece non ha urtato contro nessun confine; semplicemente abbiamo visto le stelle diradarsi sempre più, finchè ci siamo trovati nel vuoto. La Galassia non è un disco

limitato da una superficie materiale come è un orologio; è un agglomerato di stelle che ha la forma di un disco. Nell'interno un formicolare di soli, all'esterno il vuoto.

E se la nostra imbarcazione continuasse il suo viaggio sempre nella stessa direzione, lasciando dietro di sè impiccolire e sparire questo enorme disco, luminoso per tanti soli? Continuerebbe eternamente il suo viaggio nell'oscuro vuoto? E questo viaggio non avrebbe mai un termine? Nessun chiarore illuminerebbe più le tenebre? Non negate che a questa idea siete presi da un senso di oppressione; il vuoto infinito... Voglio rassicurarvi subito: le tenebre saranno ancora rischiarate di tanto in tanto. Ma prima di voler sapere che cosa esiste al di fuori del nostro sistema stellare, fermiamoci per conoscere un po' meglio questa Galassia che è il nostro universo visibile.

L'anno-luce

Quanto è grande questa Galassia? Quante stelle sono contenute in essa? Quanto sono distanti l'una dall'altra queste stelle? Che posto occupa il nostro Sole? Sicuramente vi piacerebbe avere una risposta a tutte queste domande: e allora incominciamo.

Quanto è grande la Galassia? Qui subito devo dire una cosa che ritarderà un pochino la risposta che ho promesso ma che è assolutamente necessaria per poterci bene intendere nel seguito.

Tutti sanno bene che l'unità fondamentale di lunghezza è il metro, ma che il metro ha diversi multipli e sottomultipli per permetterci di misurare comodamente le varie grandezze. Mi spiego: io misurerò in metri l'altezza di una casa ma non misurerò in metri la lunghezza di una formica e non ho dato in metri la distanza tra il Sole e la Terra. Nella misura delle lunghezze si deve usare l'unità più adatta: io dico che quel signore è alto 1 metro e 70 centimetri e non dico che è alto 1700 millimetri oppure 0,0017 chilometri.

Fin quando ci siamo mantenuti nei limiti del sistema solare,

abbiamo usato come unità di lunghezza il chilometro. Ma già per i pianeti più lontani dal Sole questa unità di lunghezza comincia a mostrarsi poco adatta; ho detto, per esempio, che Plutone si muove a una distanza di 6400 milioni di chilometri, cioè a 6.400.000.000 chilometri; gli zeri cominciano già a diventare decisamente troppi.

Ma queste distanze tra i pianeti e il Sole, che a noi sembrano enormi, sono piccolissime, anzi addirittura trascurabili, rispetto alle distanze tra il Sole e le altre stelle; se quindi il chilometro era una unità adatta per misurare le distanze finchè ci limitavamo a muoverci nell'interno del nostro sistema solare, essa è assolutamente inadatta ora che abbiamo varcato i suoi confini e ci muoviamo nell'ambito enormemente più vasto di quel sistema stellare che è la Galassia. Perciò la prima cosa che dobbiamo fare ora è di metterci d'accordo sull'unità di lunghezza che vogliamo usare e che dovrà essere, naturalmente, molto più grande del chilometro. Dove andremo a scegliere una tale unità?

Ebbene, rivolgiamoci ancora una volta a quella alata messaggera che attraversa gli spazi, la quale già una volta (ricordate?) ci ha tratto di imbarazzo in un caso del tutto diverso; chiediamo dunque aiuto alla luce.

Credo che pochi abbiano mai pensato che la luce non si propaga istantaneamente, ma che ha bisogno di un certo tempo per percorrere un dato spazio. Se un raggio di luce parte in questo istante dal Sole, esso non colpisce il mio occhio in questo stesso istante, ma per un certo tempo esso si troverà nello spazio tra me e il Sole, correndo in linea retta verso di me; soltanto dopo che avrà percorso questo spazio, giungerà al mio occhio. E ciò accade per tutti i raggi di luce che partono contemporaneamente da tutti i punti del Sole. Quindi i raggi di luce che colpiscono in questo istante il mio occhio non sono quelli che in questo istante partono dal Sole, ma sono quelli che sono partiti un certo tempo fa e che nel frattempo hanno viaggiato nello spazio per superare la distanza che c'è tra il Sole e la Terra. Perciò il Sole che io vedo ora non è il Sole come esso è in questo istante, ma il Sole come era quando da lui sono partiti i raggi luminosi che ora colpiscono il mio occhio.

La velocità con cui si muove la luce è enorme; essa percorre in ogni secondo 300.000 chilometri! Quindi poichè la distanza

che ci separa dal Sole è di 149 milioni di chilometri, essa impiega un po' più di 8 minuti a varcare questo spazio. Noi perciò vediamo sempre il Sole come esso era 8 minuti prima; in particolare l'ultimo raggio di luce che il Sole ci invia all'istante del suo tramonto, ci giunge dopo 8 minuti di fantastico volo: il che significa che noi vediamo il tramonto del Sole 8 minuti dopo che esso è già avvenuto.

Ma non lasciamoci distrarre e ricordiamoci che siamo alla ricerca di una grandissima unità di lunghezza. Dunque la luce si propaga nello spazio con la velocità di 300.000 chilometri al secondo; e poichè in un anno vi sono 31.500.000 secondi, essa in un anno percorrerà la bellezza di circa 9460 miliardi di chilometri! Avete capito che razza di viaggiatrice? Se perciò una sorgente luminosa, che si trovasse a 9460 miliardi di chilometri lontana da noi, emettesse in questo istante un raggio luminoso, questo viaggerebbe nello spazio in linea retta per un anno, sempre alla fantastica velocità di 300.000 chilometri al secondo, prima di giungere al nostro occhio.

9460 miliardi di chilometri! Non vi sembra questa una lunghezza abbastanza grande? Gli astronomi si sono dichiarati soddisfatti: l'hanno accettata come unità di lunghezza e l'hanno chiamata *anno-luce;* essa è lo spazio che la luce percorre in un anno, muovendosi alla velocità di 300.000 chilometri al secondo. Perciò quando io dico che la stella più vicina a noi si trova alla distanza di circa quattro anni-luce, intendo dire che essa si trova a una distanza tale che la luce impiega circa quattro anni a percorrerla; cioè a circa 40 mila miliardi di chilometri.

Le dimensioni della Galassia

E ora ritorniamo a noi: quanto è grande la Galassia? Immaginiamo, molto poeticamente, di essere un raggio di luce e lanciamoci in linea retta nello spazio alla fantastica velocità di 300.000 chilometri al secondo, partendo da un estremo della Galassia: quanto tempo dovremo viaggiare per attraversarla tutta?

Non saremo noi, a raggiungere la meta; e non saranno nemmeno i nostri figli e nemmeno i figli dei nostri figli: perchè questo viaggio richiederà più di 100.000 anni.

Lo spessore di questo enorme disco è circa la decima parte della sua larghezza; il nostro sistema stellare ha una larghezza che supera i 100.000 anni-luce e uno spessore di circa 15.000 anni-luce.

Nel dare queste cifre non pretendo di essere stato esattissimo: ma spero che non mi farete una colpa di aver sbagliato qualche miliardo di chilometri in più o in meno; che cosa è, ora, per noi qualche miliardo di chilometri? Una vera quisquilia.

La freccia della figura superiore a pagina 87 indica il punto in cui si trova il nostro Sole, a circa 30.000 anni-luce dal centro; e vicini a questo piccolo Sole viviamo noi, circondati dal formicolare di tante stelle.

Quando, da questo nostro punto di osservazione, volgiamo lo sguardo verso le facce esterne della Galassia vediamo proiettarsi sul cielo le stelle che si trovano in quelle direzioni; ma quando volgiamo il nostro sguardo nella direzione che corrisponde alla dimensione maggiore della Galassia, vedremo proiettarsi sul cielo un numero enormemente più grande di stelle, le quali anzi ci appariranno tanto fitte da confondersi e sovrapporsi; ciò che vediamo allora è « il sabbioso sentiero del giardino celeste », è la Via Lattea.

Tutte le stelle che, in quella direzione, si trovano in quella zona della Galassia, lunga 80.000 anni-luce, la quale si trova tra il Sole e uno degli estremi del disco, tutte quelle stelle, enormemente distanti l'una dall'altra, ci appaiono, nella stretta zona della Via Lattea, addossate e confuse. E la stessa cosa accade quando si guarda dalla parte opposta, verso l'altro estremo della Galassia.

Ecco perchè, nelle limpide notti senza luna, vediamo brillare nel cielo l'argenteo arco della Via Lattea.

MODELLO DELLA GALASSIA

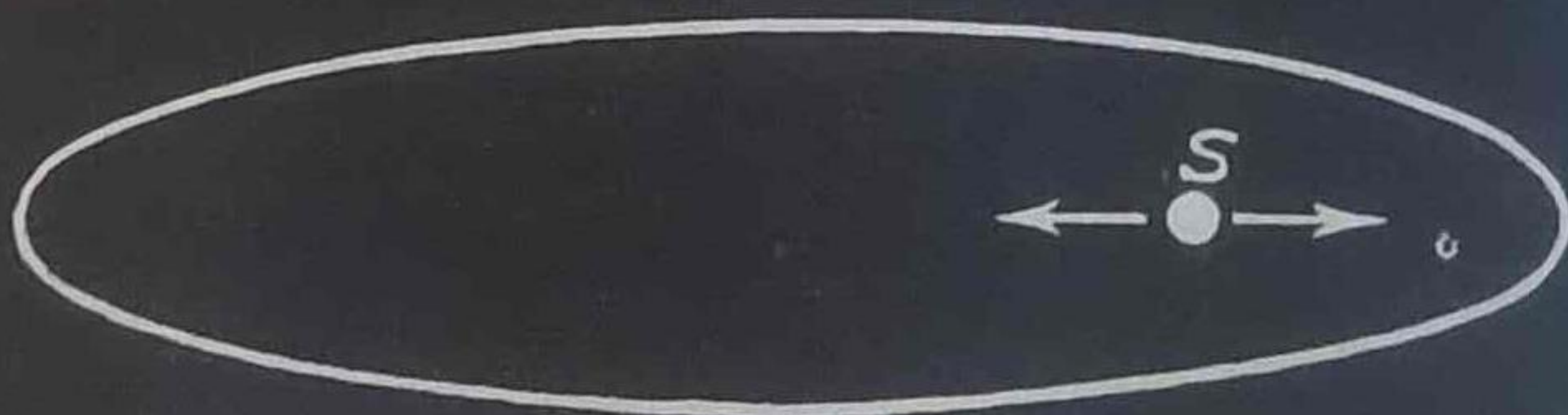
IL SOLE È QUI

GUARDANDO IN QUESTE DIREZIONI

S

NON VEDIAMO LA VIA LATTEA.

LA VEDIAMO GUARDANDO

S

NEL PIANO DELLA GALASSIA

Quante sono le stelle della Galassia

In una notte senza Luna, un uomo che abbia una vista perfetta può vedere nel cielo circa 3000 stelle; con il più potente cannocchiale del più potente osservatorio del mondo, l'osservatorio americano di Monte Wilson, sono state fotografate in tutto circa 1500 milioni di stelle; e questo numero andrà aumentando man mano che crescerà la potenza dello strumento usato.

Il numero reale delle stelle della Galassia è evidentemente ben superiore ai 1500 milioni: quale è questo numero, cioè quante sono, più o meno, le stelle che costituiscono questo disco di più di 100.000 anni-luce di larghezza e di 15.000 anni-luce di spessore?

Dirò subito che gli astronomi non sono molto d'accordo su questo numero: c'è chi dice che sono 100 miliardi e c'è chi dice che sono più di 300 miliardi; tra 100 miliardi e 300 miliardi la differenza è soltanto di un piccolo due; ma, dato che si tratta di centinaia di miliardi, non è cosa trascurabile. Non sono certamente io che posso decidere quale di queste cifre sia quella più vicina alla realtà; l'astronomo dei 100 miliardi è stato forse troppo prudente e quello dei 300 miliardi troppo audace; *in medio virtus*: diciamo perciò che il numero delle stelle che costituiscono questo nostro sistema stellare è forse, grossolanamente, di duecento miliardi.

È difficile riuscire a farsi un'idea di un numero così grande: la popolazione di tutta la Terra è di circa un miliardo e mezzo di individui; prendete 60 Terre, mettetene insieme tutti gli abitanti e avrete circa 100 miliardi di individui, che, secondo quell'astronomo prudente, è il numero delle stelle della Galassia. Non voglio ora soffermarmi a pensare che cosa succederebbe di 100 miliardi di uomini messi insieme, dal momento che soltanto un miliardo e mezzo di essi riesce a litigare e ad ammazzarsi in tutte le le combinazioni possibili: Tizio vuol uccidere Caio, Caio vuol eliminare Tizio, Tizio e Sempronio si alleano per quel breve tempo necessario per eliminare Caio.... e così di seguito. Ma non pensiamo a malinconie e torniamo alle stelle che, almeno esse, non danno dispiaceri di sorta.

La ragione per cui gli astronomi sono giunti a cifre diverse nella valutazione del numero di stelle della Galassia, è che essi hanno seguito metodi di calcolo diversi; e, data l'incertezza dei dati del problema, è già meraviglioso che siano giunti a numeri che, per quanto diversi, si mantengono tutti nell'ordine delle decine di miliardi.

Vorrei ora dare un'idea del procedimento seguito in uno di questi calcoli; vediamo, molto all'ingrosso, come ha fatto il più audace di quegli astronomi per giungere alla conclusione che il numero di stelle della Galassia è superiore a 300 miliardi. Immaginiamo di poter riuscire a sapere che massa abbiano, nel loro insieme, le stelle della Galassia; facendo allora l'ipotesi (che del resto corrisponde alla realtà) che le stelle abbiano tutte più o meno la stessa massa del Sole, basterà semplicemente dividere la massa totale per la massa del Sole per avere subito, all'incirca, il numero di stelle che compongono questo nostro sistema stellare. Il problema quindi si riduce a determinare quale massa abbiano, tutte insieme, le stelle; non è certo uno scherzo, d'accordo, ma non è nemmeno una cosa impossibile.

Devo cominciare col darvi una delusione: da piccoli avete imparato che i corpi celesti si distinguono in pianeti e stelle fisse; queste ultime si chiamano così perchè ci appaiono sempre fisse nella stessa posizione, tanto è vero che gli antichi hanno potuto raggrupparle in costellazioni, che sono rimaste immutate nel corso dei secoli. Bene, ecco la delusione: le stelle fisse non sono affatto... fisse. Esse si muovono nello spazio ma, a causa della enorme distanza che le separa da noi, questi movimenti sfuggono alla nostra osservazione. Avete mai osservato, dalla riva del mare, un bastimento che passi lontano, laggiù, alla linea dell'orizzonte? Se si tengono gli occhi fissi sul bastimento esso sembra fermo, ma se lo si guarda a grandi intervalli, ci si accorge che lentamente si muove; probabilmente esso correrà a gran velocità ma, data la grande lontananza, a noi sembra che si muova lentamente. Lo stesso accade per le stelle cosiddette fisse; ma mentre il bastimento si trovava alla distanza di qualche chilometro, le stelle si trovano a diverse migliaia di miliardi di chilometri; esse perciò, se così si può dire, sono per noi molto più immobili del bastimento e riusciremmo a renderci conto

visualmente del loro movimento soltanto se potessimo guardarle a intervalli lunghissimi.

A causa dei movimenti delle stelle nello spazio, la forma delle costellazioni va lentissimamente cambiando; ecco quale sarà tra 100.000 anni la disposizione delle stelle di Cassiopea, dell'Orsa maggiore e di quelle dell'Orsa minore; così esse appariranno agli occhi dei nostri lontani discendenti.

COME APPAIONO OGGI...

CASSIOPEA ORSA MAGGIORE ORSA MINORE

... E COME APPARIRANNO TRA CENTOMILA ANNI

Dato che le stelle si muovono nello spazio, perché non si disperdono? Che cosa è che impedisce questa dispersione, che cosa è che trattiene le stelle a formare questo tutto che è la Galassia? Già altre due volte, nel corso di questo libro, ci siamo posta una domanda analoga; una volta ci siamo chiesti: che cosa è che trattiene la Luna sulla sua traiettoria intorno alla Terra? E un'altra volta: che cosa è che trattiene la Terra sulla sua orbita intorno al Sole? E per entrambe queste domande, se ricordate, la risposta fu la stessa: è la forza di attrazione della Terra che trattiene la Luna sulla sua orbita, è la forza di attrazione del Sole che trattiene la Terra e le impedisce di allontanarsi per sempre dal Sole. È dunque questa la terza volta che ci si presenta una domanda di questo genere ed anche questa volta la risposta sarà analoga: è la forza di attrazione reciproca di tutte le stelle della Galassia che impedisce loro di disperdersi nello spazio e che fa del sistema galattico un tutto.

Fissiamo ora per un istante la nostra attenzione su una qualsiasi delle stelle della Galassia; per esempio, per essere campanilisti,

sul Sole; questo subisce l'azione di attrazione di tutte le stelle che si trovano tra esso e il centro della Galassia e, sotto l'azione di questa forza, si muove intorno al centro della Galassia descrivendo in circa 200 milioni di anni (!) un'orbita chiusa. Per mezzo della legge di Newton, dalla conoscenza di questa orbita si può risalire alla massa del corpo attraente, cioè, in questo caso, alla massa globale di tutte le stelle che si trovano nell'interno dell'orbita che il Sole descrive intorno al centro della Galassia.

È proprio questo ciò che ha fatto quell'astronomo audace, per quanto, per ragioni pratiche, sia stato meno campanilistico di noi. Dalla velocità con cui le stelle vicine al Sole percorrono la loro orbita, egli ha dedotto la massa globale di tutte le stelle poste nell'interno della loro orbita; ha esteso questo risultato a tutta la Galassia; ha diviso la massa totale per la massa del Sole ed è giunto così alla conclusione che il numero delle stelle della Galassia supera i 300 miliardi.

Mi sono forse soffermato troppo su questo particolare metodo di calcolo; ma di tanto in tanto mi fa piacere mostrare la via seguita dagli scienziati per giungere a determinare numeri che, qualche volta, potrebbe venire il sospetto fossero dati un po' a caso, così come si giocano i numeri del lotto.

Rileggendo ciò che ho scritto qualche pagina indietro, trovo questa frase: « La Galassia è un agglomeramento di stelle che ha la forma di un disco: nell'interno un formicolare di soli, all'esterno il vuoto ».

Decisamente non è stata una frase felice; perchè quel verbo « formicolare » ha fatto probabilmente sorgere l'impressione che l'interno della Galassia sia uno spazio enormemente ingombro di stelle in moto; e che una persona che si trovasse nel suo interno, sarebbe nella poco piacevole situazione di qualcuno che, nell'ora di maggior traffico, si trovasse nel centro della strada più importante di una grande città: automobili che passano in tutte le direzioni a grande velocità, che sfiorano di qua, di là, che si sfiorano, che, qualche volta, si urtano.

Ebbene no: una persona che si trovasse ferma in un punto qualsiasi nell'interno della Galassia, avrebbe un'unica sensazione, altrettanto spiacevole: la sensazione di una enorme solitudine.

Andiamo nella strada e raccogliamo, se siamo capaci, sei granellini di polvere; vuotiamo la stazione di Milano; disperdiamo nel suo interno i sei granellini di polvere; essa sarà ancora più ingombra di polvere di quanto non sia ingombro di stelle l'interno della Galassia. Questi granellini si muovono nell'interno vuoto della stazione; potranno anche incontrarsi; ma passeranno centinaia di migliaia di miliardi di anni prima che ciò avvenga. No, decisamente, la circolazione nell'interno della Galassia non è tale da suscitare grande preoccupazione.

Qualche coppia innamorata

Tra tutte queste stelle, così tristi nella loro solitudine, c'è però, di tanto in tanto, qualche fortunata eccezione. Ecco qui, per esempio, il nostro Sole, circondato dalla sua numerosa famiglia di pianeti e di satelliti; e forse qua e là, per quanto tra le stelle sia questo un avvenimento eccezionalmente raro, esiste qualche altro Sole consolato dalla vicinanza dei suoi figliuoli.

Ma oltre a queste rare famiglie, troviamo molto spesso qualche coppia di stelle; le strade del cielo sono buie e solitarie: perchè dovremmo quindi meravigliarci che qualche coppia ne approfitti per passeggiarvi amorosamente?

A queste coppie di stelle è stato dato il nome di « sistemi binari ». Si potrebbe pensare che non si tratti affatto di una coppia ma semplicemente di una famiglia piccola piccola, costituita dal padre e da un solo figlio, cioè da un sole e da un pianeta; ma devo insistere nella mia affermazione: non si tratta di una piccola famiglia ma di una coppia. Se il sistema fosse costituito da una stella intorno a cui girasse un pianeta, questo ultimo sarebbe molto più piccolo della stella, come appunto accade nel sistema planetario. Invece in un sistema binario le due stelle sono proprio due stelle che hanno più o meno la stessa massa; e nessuna di esse resta ferma, ma, legate insieme dalla reciproca forza di attrazione, girano continuamente l'una attorno all'altra descrivendo due ellissi diverse.

Non nego che questo movimento sia piuttosto complicato e che i nostri innamorati terrestri che passeggiano a braccetto siano molto più spicci; ma insomma ognuno fa quello che può.

Un'ultima corsa precipitosa

La Galassia, questo enorme disco di stelle che ruota intorno a se stesso, non occupa sempre la stessa posizione; ma essa, tutta in blocco, si muove nello spazio, in una certa direzione, con la velocità piuttosto ragguardevole di circa 700 chilometri al secondo. Possiamo dire, veramente, che i corpi celesti sono i corpi più irrequieti che si siano mai visti.

Ricordate il senso di pace profonda che ci invade quando, sdraiati supini sulla riva del mare, ascoltiamo l'eterno mormorio delle onde? La natura ci sembra immobile e come sospesa. Ma in quel momento noi siamo trascinati nello spazio dai più vari movimenti: la Terra, girando intorno a se stessa, percorre la sua orbita intorno al Sole; il Sole gira intorno al centro della Galassia mentre, con tutte le altre stelle di questo sistema stellare, vola nello spazio con la velocità di 700 chilometri al secondo. Sembrerebbe che la nostra vita dovesse essere un continuo tumultuare; invece no: siamo sdraiati supini e la natura immobile ci pervade di una pace profonda.

Le stelle

Ed ora che ci siamo fatti un'idea dell'insieme di questo sistema stellare che racchiude in sè tutto ciò che occhio mortale può vedere, guardiamo un po' da vicino queste stelle e vediamo che cosa di esse gli astronomi, da questo infinitesimo osservatorio che è la Terra, sono riusciti a conoscere.

La massa e il colore delle stelle

La popolazione stellare è molto varia. Già al primo sguardo ci accorgiamo di questa varietà : le stelle ci appaiono di diverso splendore e di diverso colore: quale più rossastra, quale più bianca.

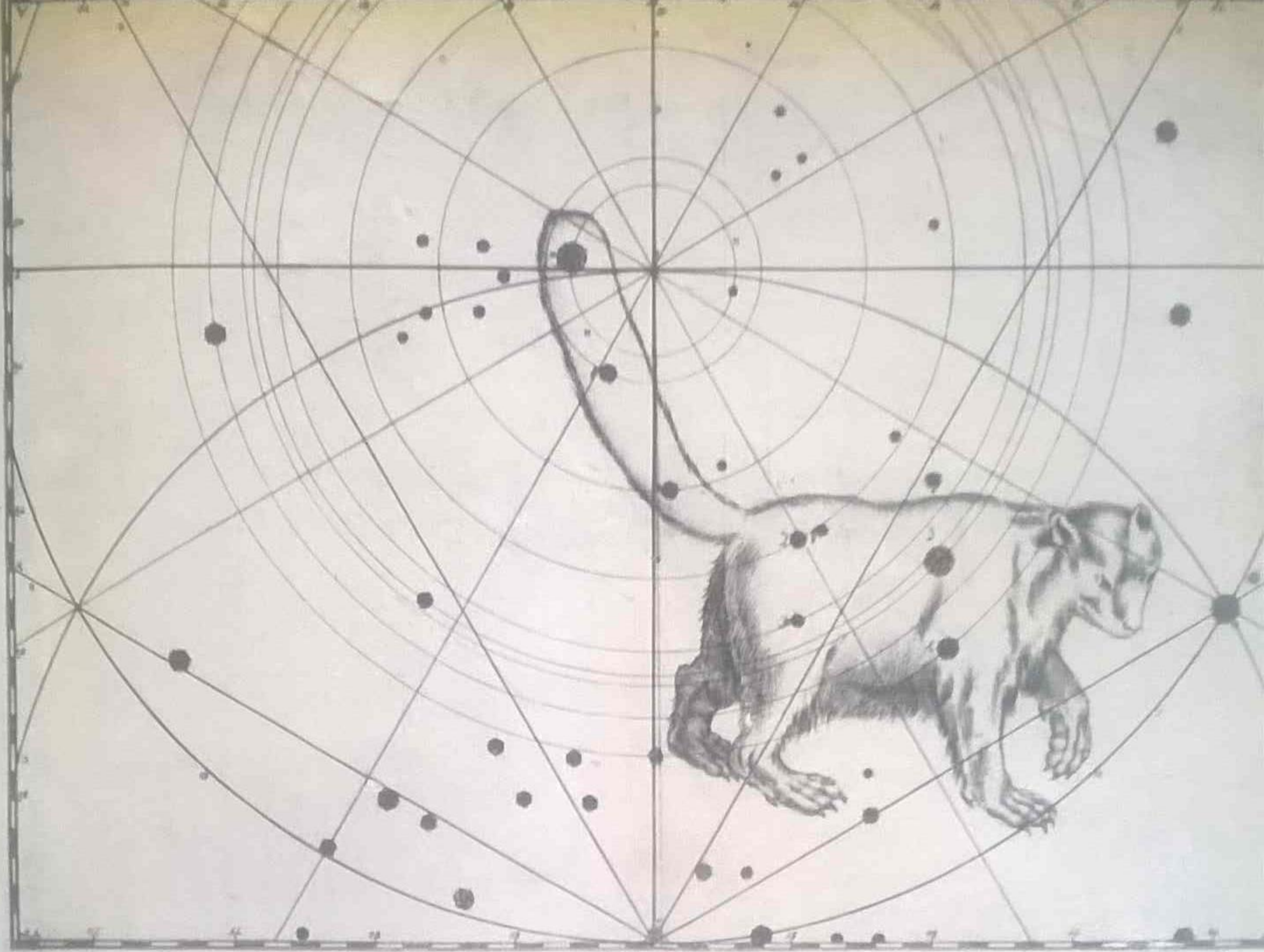
Si potrebbe pensare che la differenza di splendore delle stelle sia dovuta soltanto alla loro diversa distanza, poichè evi-

dentemente se le stelle fossero tutte eguali, quelle più vicine dovrebbero apparirci più brillanti delle altre. Ma in realtà non è così: le stelle *non* sono tutte eguali. Vi sono stelle più grandi e stelle meno grandi, stelle più dense e meno dense, stelle più calde e meno calde. Una sola cosa non cambia molto da stella a stella: cioè la loro massa.

Ho detto una volta che la massa della Terra è di 6 sestilioni di chilogrammi, essa cioè è rappresentata da un 6 seguito da 24 zeri. La massa del Sole, invece, di questa stella cioè che ci è un po' più cara delle altre, è di chilogrammi... Come fare a leggere questo numero così grande? È un 2 seguito da 30 zeri; scriviamolo. Dunque la massa del Sole è di

2.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000 kg.

Spero di aver contato bene e di non avere scritto troppi zeri in più o in meno, perchè (come osserva l'astronomo Eddington) se io avessi sbagliato voi forse non ci fareste caso ma la Natura sì; quando si parla della massa di una stella, la Natura non ammette sbagli; essa ha un'idea ben precisa: tutte le stelle debbono contenere la stessa quantità di materia. Essa ammette, naturalmente, un errore di uno zero in più o in meno, ma niente di più; un errore di due zeri è per lei qualcosa di quasi inaudito. Uno zero in più: ed ecco una stella eccezionalmente grande; uno zero in meno ed ecco una stella piccolissima. Come faccia poi in pratica la Natura a fare rispettare questo suo principio che non ammette discussioni, sarebbe una cosa un po' troppo difficile a raccontare. Accontentiamoci di sapere che le stelle hanno quasi tutte la stessa massa.

Purchè si rispetti questo principio fondamentale, si ha poi libertà di scelta. Volete una stella grande? Rarefate questa quantità di materia facendole occupare una sfera di grandissimo raggio ed eccovi accontentati; avrete una stella grandissima, la quale però sarà, di conseguenza, molto poco densa. Volete invece una stella piccola? Condensate quella quantità di materia in una sfera di piccolo raggio ed eccovi una stella piccola, la quale però sarà

TAURUS

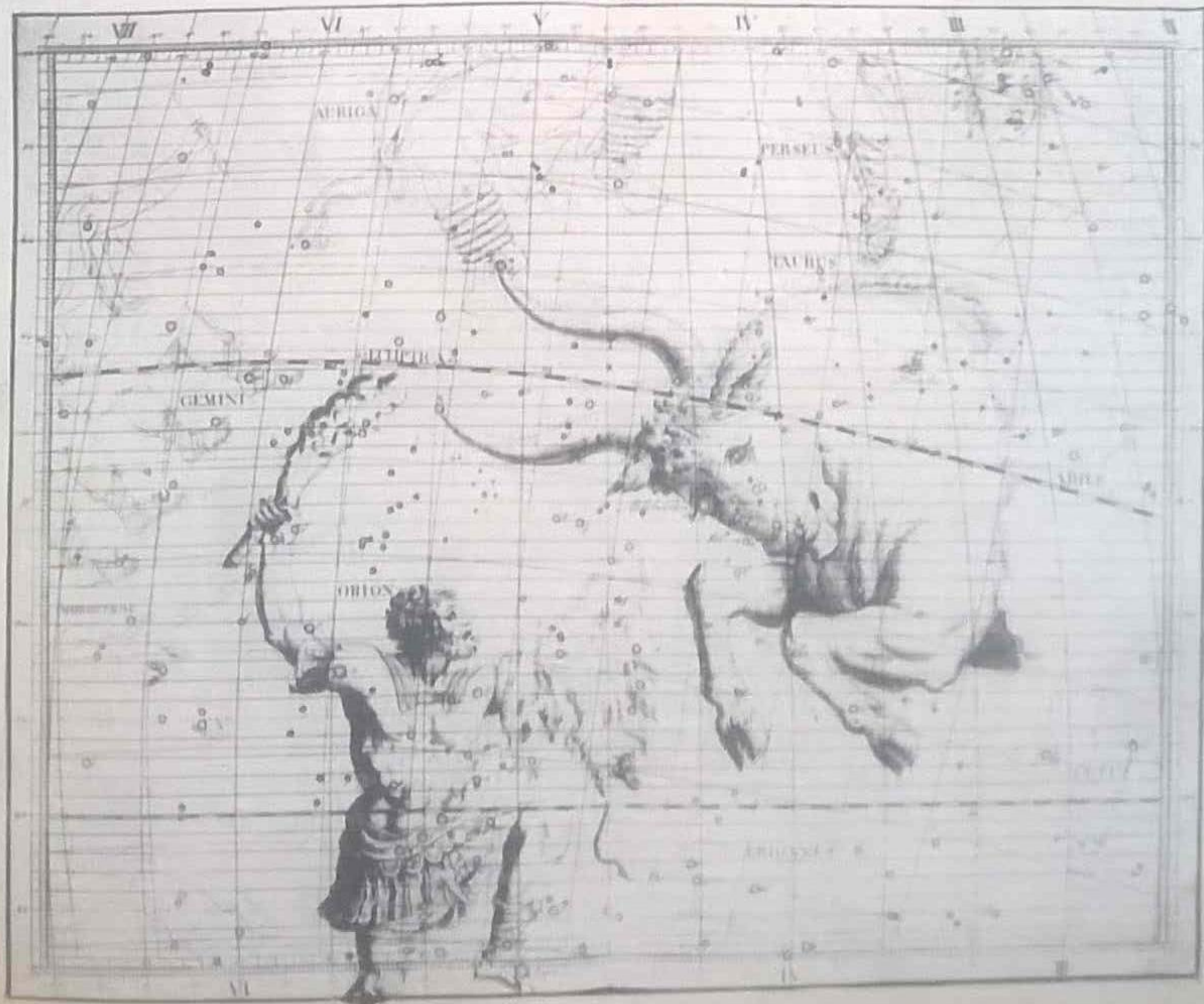



TAVOLA V

Esempi di costellazioni. In alto: l'Orsa Minore (la stella che sta all'estremità della coda è la Stella Polare).

In basso: Orione e il Toro: questa seconda costellazione, la quale attraversa l'eclittica (la linea grossa e curva), è una delle costellazioni dello Zodiaco, sita tra i Gemelli e l'Ariete.

densissima. Per esempio la stella di nome Antares occupa uno spazio che è 90 milioni di volte più grande dello spazio occupato dal Sole; perciò per conoscere la densità di questa stella dobbiamo dilatare in questo enorme spazio la stessa quantità di materia (o poco più) che è contenuta nel Sole. Se ricordate, dicemmo molto tempo fa che il Sole ha quasi la stessa densità dell'acqua; perciò una tonnellata di materia solare occuperà quasi un metro cubo di spazio; nella stella Antares allora una tonnellata di materia occuperà uno spazio maggiore dell'interno di una grandissima cattedrale. Se per caso vi trovaste nell'interno di questa stella, non vi accorgereste della sua materia più di quanto in questo momento vi accorgiate dell'aria che c'è nella stanza in cui vi trovate.

Ed ecco l'estremo opposto. Una delle stelle più piccole che si conoscano è la stella di Van Maanen la quale è grande precisamente come la Terra; nel Sole troverebbero comodamente posto più di un milione di stelle eguali a queste e ancora rimarrebbe posto. Ora se dobbiamo fare entrare in uno spazio così piccolo la stessa quantità di materia che c'è nel Sole (o poco meno), dobbiamo comprimere una tonnellata di materia nel volume di una ciliegia.

Antares è una stella gigante e la stella di Van Maanen è una nana; il nostro Sole si mantiene nell'*aurea mediocritas,* e non cade nè in un eccesso nè nell'altro.

Se guardiamo il cielo ad occhio nudo, vediamo bene che le stelle non hanno tutte lo stesso colore e che qualcuna appare più rossastra, qualche altra più giallognola. Ma, in fondo, non ci sembrano grandi differenze. Guardiamo, invece, al telescopio. Non credo che il guardaroba di una signora elegante contenga tanti colori quanti ne racchiude il cielo stellato.

Non pretendo che ricordiate tutto ciò che avete letto finora; ma spero che nella vostra mente siano rimasti collegati i due concetti: « colore di una stella » e « temperatura della sua superficie ». Ricordate il messaggio cifrato portato a noi dalla luce, ricordate lo spettroscopio e gli spettri? Ad ogni colore di una sorgente luminosa corrisponde una temperatura: al colore giallo pallido del Sole corrisponde la temperatura di circa seimila gradi. Perciò la grande varietà dei colori delle stelle ci indica la grande varietà

delle loro temperature superficiali. Vi sono stelle più fredde del Sole (le stelle rosse) e stelle più calde (le verdi, le violette). Le più fredde hanno una temperatura superficiale di soltanto 2500 gradi, la superficie delle più calde raggiunge i 30.000 gradi!

Avevo scritto: « la popolazione stellare è molto varia ». E ora spero che mi darete ragione: stelle piccole e stelle grandi, stelle dense e stelle rarefatte, stelle fredde e stelle calde: un magnifico e vario campionario di articoli stupendi.

La vita delle stelle

Ho paura però di avere un po' esagerato perchè forse ora penserete di poter trovare in cielo stelle di tutti i tipi possibili: e questo non è vero. Mi spiego con un esempio: raduniamo in una grande stanza molti uomini presi a caso. Avremo così un ricco campionario di uomini: in un angolo un bimbo piccolo appena nato, là un vecchietto curvo e sdentato; qui un ragazzo dalla carnagione fresca e rosea e accanto un uomo maturo dai capelli brizzolati; e poi uomini alti e uomini bassi, uomini magri e uomini grassi, capelli biondi, capelli neri, capelli grigi, capelli bianchi e anche zucche pelate. Insomma anche questo è un campionario molto vario.

Ciò però non significa che io possa trovare in questa stanza qualsiasi tipo di uomo vi venga in mente; se, per esempio, mi dite: voglio un bambino piccolo come quel cosino appena nato, il quale abbia in bocca trentadue denti, io non posso accontentarvi; come non posso accontentarvi se mi chiedete un vecchio di ottant'anni con la chioma bionda inanellata e un bambino di tre anni che sia alto come quel giovanotto. E non posso accontentarvi per la semplice ragione che gli uomini, dalla nascita alla morte, seguono un ciclo di evoluzione ben determinato: nascono piccoli piccoli, sdentati e senza capelli, attraversano la fanciullezza (durante la quale cresce il numero dei denti e la loro statura), la giovinezza, l'età adulta e giungono « nel mezzo del cammin di nostra vita » con trentadue denti e capelli in testa; cominciano a

perdere qualche capello e spesso anche qualche dente nell'età matura e giungono infine alla vecchiaia grinzosi, sdentati e con pochi capelli.

La stessa identica cosa accade per le stelle; naturalmente lì non vi sono capelli che incanutiscono nè denti che cadono; ma anche le stelle hanno una loro vita, una loro lunghissima vita; nascono (e presto vedremo come), vivono e muoiono.

Ecco perchè, per quanto sia vario il campionario stellare, posso trovarvi, se volete, una stella gigante rossa, cioè di bassa temperatura, oppure una stella nana rossa, ma non posso assolutamente trovarvi una stella rossa di dimensioni intermedie.

L'uomo nasce piccolo, poi cresce, raggiunge un massimo, diminuisce e muore; la stessa cosa accade per una stella: essa nasce piccola, cresce, raggiunge un massimo, diminuisce e muore.

E questo è tutto ciò che posso dire sul problema dell'evoluzione stellare che tanto turba i sonni di ogni buon astronomo; e non posso dire di più non soltanto perchè mi sarebbe impossibile entrare in maggiori particolari in una chiacchierata così alla buona, ma anche perchè il problema ci ha portato ai confini di quella che possiamo chiamare « scienza sicura »; confini che sono sempre confusi e indecisi. E il lavoro senza sosta degli scienziati, le ipotesi e le teorie rischiarano lentamente questa oscurità e piano piano fanno arretrare quei confini; ma è un arretrare che non conoscerà mai sosta.

Le stelle brillano in cielo da qualche miliardo di anni. Lascio fare a voi le considerazioni filosofiche che nascono dal confronto tra questa vita stellare di qualche miliardo di anni e la durata della presenza dell'uomo sulla Terra che è di circa 500.000 anni.

Naturalmente le stelle non ci hanno inviato la loro fede di nascita. Ma osservando quale è il loro aspetto odierno, quali sono le loro orbite, quale è la loro attuale posizione nel cielo, possiamo calcolare il tempo che è stato necessario perchè esse abbiano raggiunto questo aspetto e questa posizione.

Addio alla Galassia

Quando la « Fantasia » oltrepassò i confini della Galassia, continuò il suo viaggio mantenendo sempre la velocità di 300.000 chilometri al secondo; dietro di noi si allontanava la Galassia risplendente per i suoi numerosi soli; intorno a noi il vuoto e l'oscurità. E allora ci chiedemmo un po' atterriti: eternamente durerà intorno a noi questo vuoto e questa oscurità? Ed io dissi: no, ancora qualche cosa rischiarerà di nuovo le tenebre.

Abbandoniamo perciò ora la Galassia, con tutte le sue stelle, che sono tutte le stelle che brillano nel nostro cielo, e vediamo che cosa è questo qualcosa che viene a rallegrare le tenebre del nostro lungo viaggio.

LE NEBULOSE EXTRAGALATTICHE

Quando Galileo Galilei puntò per la prima volta il suo telescopio sul pianeta Giove, ebbe la prova irrefutabile della possibilità della esistenza del sistema solare; infatti ciò che egli vide, cioè Giove circondato dai suoi satelliti, non era che un sistema solare in miniatura. Non potremo mai ottenere una vista di insieme del sistema solare per la semplice ragione che ne facciamo parte, cioè ci troviamo nell'interno di esso; invece Giove con i suoi satelliti è un sistema *esterno* a noi e, per quanto in scala ridotta, è l'esatta riproduzione di un sistema planetario.

La stessa cosa accade per il sistema galattico. Studiando la distribuzione di tutte le stelle nello spazio e la loro velocità, gli astronomi sono faticosamente giunti alla conclusione che tutte le stelle sono raggruppate in un enorme sistema che ha la forma di un disco schiacciato. Noi, che abbiamo grandissima fiducia negli astronomi e nella loro scienza, nemmeno per un attimo poniamo in dubbio la giustezza delle loro conclusioni; ma certamente ci

farebbe piacere poter vedere dall'esterno questa Galassia, cioè questo disco di stelle isolato nello spazio. Ciò è naturalmente impossibile, dato che noi ci troviamo nell'interno di esso; ma se si scoprissero nello spazio altri sistemi simili alla nostra Galassia, e quindi *esterni* ad essa, ecco che avremmo la prova ottica che tali sistemi possono esistere.

Ebbene, tali sistemi esistono e noi possiamo vederli, facendoci così un'idea di quello che deve essere l'aspetto della nostra Galassia, vista dal di fuori.

Ora però devo chiedere scusa di una inesattezza in cui sono volontariamente incorso un po' di tempo fa; e precisamente quando ho detto che *tutto* ciò che sguardo umano può vedere nel cielo stellato fa parte del sistema galattico. L'intenzione con cui vi ho un pochino ingannato mi sembra lodevole: avevo paura di complicare troppo le cose e di confondere le idee.

NEBULOSA
DI ANDROMEDA

Ma ora posso dirvi che c'è nel cielo qualche piccolissima cosa che *non* fa parte della nostra Galassia; del resto sono cosine così piccole che forse il mio inganno non è stato, in fondo, un vero inganno.

Dunque qua e là nel cielo sono disseminate come delle macchioline chiare, quasi piccolissime nuvolette; soltanto una di esse (la nebulosa di Andromeda) è visibile a occhio nudo. Sono appunto queste macchioline le cosine che non fanno parte del nostro sistema galattico; per questo fatto e per il loro aspetto, è stato dato loro il nome di « nebulose extragalattiche ».

Puntiamo il cannocchiale sulla più importante di queste nebulose, cioè su quella cosina che si vede appena nella costellazione di Andromeda; ecco che cosa vediamo: un agglomerato fittissimo di stelle disposte in uno spazio che ha la forma di un disco schiacciato, secondo una disposizione a spirale.

Queste fotografie sono per noi oggi ciò che, tre secoli fa, fu, per Galileo, il sistema di Giove e dei suoi satelliti; questo fu una rappresentazione del nostro sistema solare, quelle sono un'immagine del nostro sistema stellare.

La distanza delle nebulose extragalattiche

Per convincersi che le nebulose extragalattiche non possono far parte del nostro sistema stellare, basta conoscere le loro distanze. La più vicina tra quelle che si conoscono (che sono circa due milioni) si trova a una distanza tale che la luce impiega circa 850.000 anni per giungere fino a noi; ricordando che la Galassia ha il diametro maggiore di 100.000 anni-luce, vediamo subito che questa nebulosa, che inoltre è la più vicina a noi, si trova molto al di fuori dei confini della Galassia. La più lontana si trova a circa 140 milioni di anni-luce da noi! La luce che noi oggi riceviamo nel nostro cannocchiale è partita da essa ed ha viaggiato verso una Terra sulla quale ancora non esisteva l'uomo; poco prima che questa luce giungesse, la vita umana è apparsa su questo nostro pianeta, gli uomini si sono interessati al cielo

stellato ed hanno costruito questo cannocchiale che oggi riceve quella luce. E durante tutto questo tempo, la luce ha viaggiato nello spazio alla velocità di 300.000 chilometri al secondo.

Per quel che riguarda le dimensioni delle nebulose extragalattiche, si è trovato che, in generale, i loro diametri sono minori di quello della Galassia.

Sono queste nebulose che di tanto in tanto (in verità molto di rado) rischiarano il viaggio della nostra « Fantasia ». Disseminate nello spazio alla distanza di centinaia di migliaia di anni-luce l'una dall'altra, ognuna di esse costituisce un universo a sè, con i suoi soli e il suo cielo stellato; sono tanti « universi-isole », immersi nel vuoto senza confine.

Dicemmo che la nostra Galassia è costituita da almeno 100.000 milioni di stelle e credevamo di avere conglobato in questo numero tutte le stelle dell'Universo; sì, ma tutte le stelle del *nostro* universo, di questo universo-isola che ha nome Galassia. Ma non è ancora finito: al di fuori del sistema galattico vi sono ancora milioni e milioni di stelle raggruppate in altri sistemi simili al nostro e, come il nostro, isolati nello spazio. La Galassia non contiene tutte le stelle dell'Universo, come una casa di Roma non contiene tutti gli abitanti d'Italia.

Una rappresentazione dell'Universo

Mi piace raccontare qui la rappresentazione che ci dà dell'Universo l'inglese Jeans, uno degli astronomi più noti.

Dunque, immaginiamo di rappresentare con una testa di spillo il circuito che in un anno la Terra percorre intorno al Sole, il quale non sarà che un granellino di polvere di 7 millesimi di millimetro di diametro, posto nel centro. In questa proporzione, la stella che si trova più vicina a noi, la Proxima della costellazione del Centauro, sarà posta a circa 200 metri.

Continuiamo a costruire, in questa scala, il nostro modello dell'Universo. Possiamo rappresentare tutte le stelle indistinta-

mente come granellini di polvere. Dunque disponiamo questi granellini nello spazio a più di 400 metri l'uno dall'altro e continuiamo così a costruire il nostro modello su centinaia di chilometri in ogni direzione. Bene, in questa scala di una testa di spillo corrispondente all'orbita della Terra intorno al Sole, tutto il sistema galattico avrebbe le dimensioni del continente americano.

Fermiamoci a respirare un istante e consideriamo intanto le dimensioni relative di una testa di spillo e del continente americano.

Finito questo continente, cioè finito il sistema galattico, dobbiamo allontanarci di 50.000 chilometri prima di potere ricominciare a disporre granellini. A questa distanza costruiremo la seconda famiglia di stelle, il secondo universo-isola, il quale probabilmente è più piccolo e più compatto del nostro.

E così andiamo avanti, disponendo ogni 50.000 chilometri una famiglia comprendente migliaia di milioni di stelle, fino a che abbiamo così disposto due milioni di queste famiglie. Questo nostro modello allora si estenderà, in ogni direzione, su circa 6 milioni di chilometri; esso rappresenta più o meno tutto ciò che possiamo vedere nello spazio con l'aiuto di un potente telescopio; esso rappresenta soltanto una parte dell'Universo.

COME SI SONO FORMATI I VARI CORPI DELL'UNIVERSO

Se c'è qualcuno il quale voglia conoscere soltanto ciò che oggi appare come interamente provato e certo, costui farà bene a saltare questo capitolo, perchè ciò che ora voglio raccontare è una delle teorie che gli astronomi hanno fatto su come possono essersi formati le nebulose, le stelle e i sistemi planetari; è la più moderna di queste teorie, proposta nel 1948 dagli astronomi Weizsäcker e Ter Haar.

Questa teoria è, per ora, la migliore; essa rende conto, più delle altre, dei fatti osservati; ma purtroppo non ancora di *tutti* i fatti osservati. Ed io ve la racconto, ma, naturalmente, senza alcuna responsabilità.

Il caos primitivo

L'ipotesi più... ipotesi che dobbiamo fare è quella che costituisce il punto di partenza di tutte queste teorie; e temo che questa ipotesi non potrà mai avere una verifica sperimentale.

Essa è la risposta alla difficile domanda: in quale situazione si trovava la materia nell'Universo, quando non esistevano nè nebulose, nè stelle, nè pianeti, nè alcun altro corpo celeste?

Bene, si suppone che all'inizio la materia, che ora è condensata sotto forma di nebulose, di stelle, di pianeti... e anche tutta quella che si è man mano annientata trasformandosi in energia, fosse uniformemente distribuita in tutto lo spazio.

Poichè si conosce più o meno la massa delle varie nebulose si può all'ingrosso calcolare quale doveva essere la densità di questo caos primitivo; non scrivo il valore di questa densità perchè esso è talmente piccolo che non saprei come fare. Vi dirò soltanto che mentre nell'aria di questa stanza le particelle sono lontane l'una dall'altra circa un terzo di un milionesimo di millimetro, la materia nel caos primitivo doveva essere tanto poco densa che una particella era distante dall'altra circa 3 metri.

La nascita degli universi-isole

Immaginiamo ora che per una ragione qualunque in questa materia, estremamente poco densa, che era distribuita in tutto lo spazio, si siano formate qua e là alcune condensazioni; cioè che in qualche punto la densità di questa materia sia diventata un po' maggiore.

Il calcolo matematico dimostra che se le condensazioni erano piccole, dopo un po' di tempo esse si sono disperse e tutto è tornato allo stato di prima; ma se invece esse erano abbastanza grandi, poco per volta le particelle che le costituivano, con la loro forza di attrazione, hanno attirato a sè altre particelle della materia circostante; e le condensazioni si sono estese.

E ancora la matematica ci dice che quando un gas, che sia uniformemente diffuso, si suddivide in condensazioni, la massa di queste condensazioni è tanto maggiore quanto minore era la densità del gas originario. Ora, nel nostro caso, il caos originario aveva una densità talmente piccola che le condensazioni che esso ha creato avevano una massa che era diversi miliardi di volte superiore alla massa del Sole. Ebbene, noi conosciamo nello spazio

TAVOLA VI

La nebulosa di Andromeda.

alcuni corpi la cui massa è appunto diversi miliardi di volte superiore alla massa del Sole; questi corpi sono le nebulose extragalattiche e la nostra Galassia; cioè quegli universi-isole i quali oggi, disseminati nello spazio vuoto, contengono in sè tutta la materia dell'Universo.

È quindi ragionevole pensare che gli universi-isole non siano che queste enormi condensazioni createsi in seno al caos primitivo; tutto ciò supponendo, naturalmente, che questo caos primitivo sia esistito, supponendo cioè che sia esistita una materia estremamente rarefatta che occupasse uniformemente tutto lo spazio.

Man mano che le condensazioni andavano formandosi, si sono dovute produrre nel gas correnti diverse, sprovviste di qualsiasi simmetria, le quali hanno impresso a ognuna di queste masse un movimento di rotazione, prima lento ma che andava poi aumentando man mano che la massa si contraeva. Il risultato finale di tutto ciò deve essere un insieme di nebulose, le quali ruotano intorno a se stesse con diversa velocità.

NEBULOSA DELLA COSTELL. DELLA VERGINE

Prendiamo ora un telescopio, e vediamo se le conclusioni precedenti trovano una conferma nelle osservazioni. Procediamo con ordine.

Una massa di gas che non avesse alcun movimento di rotazione, assumerebbe, sotto l'azione della sola forza di gravitazione, una forma sferica; ed eccone un esempio nel disegno di questa pagina che riproduce la nebulosa della costellazione della Vergine. Se la massa è animata da un lento movimento di rotazione, si appiattisce leggermente; ed ecco la nebulosa Messier 32 (pag. 115). Se la velocità di rotazione aumenta, la matematica ci dice che l'appiattimento deve crescere e che la parte equatoriale deve assumere un allungamento pronunciato affilandosi in punta; troviamo nel cielo diverse nebulose che hanno questo aspetto: ecco, per esempio, la nebulosa N.G.C. 3115 (pag. 115).

NEBULOSA DELLA
COSTELL. DEL CORVO

LA NEBULOSA
N.G.C. 4565

Ed ora accade una cosa un po' strana: la teoria trova che se la velocità di rotazione aumenta ancora, la massa gassosa non si appiattisce più ma che la parte più sottile dell'equatore emette una certa quantità di materia la quale si spande nel piano stesso dell'equatore; l'osservazione ci fornisce subito alcuni esempi anche di questo caso: ecco la nebulosa che si trova nella costellazione del Corvo e la nebulosa N.G.C. 4565.

Dunque questi disegni rappresentano masse gassose le quali ruotano intorno a se stesse con una velocità che è zero per la nebulosa della Vergine e che va sempre crescendo per le successive.

Che cosa accadrà in queste masse gassose?

La nascita delle stelle

Accadrà nè più nè meno, per quanto in scala ridotta, ciò che era accaduto prima. E cioè nello strato di gas, relativamente sottile, il quale si trova intorno all'equatore della massa gassosa in rotazione, si cominciano a produrre qua e là alcune condensazioni.

Ora però la densità di questo gas è maggiore di quella che era la densità del gas caotico primitivo; mi affretto però ad aggiungere che per quanto sia circa un miliardo di volte maggiore, essa è sempre piccolissima: raccogliete, se siete capaci, l'aria espirata da una mosca, fatela diffondere nell'interno di una cattedrale e

LA NEBULOSA
MESSIER 32

LA NEBULOSA
N. G. C. 3115

avrete un gas che ha circa la densità di quello strato sottile che si trova intorno all'equatore della massa in rotazione.

Se ricordate, abbiamo detto che le condensazioni che si formano in un gas hanno una massa che è tanto maggiore quanto più piccola è la densità del gas; quindi, trattandosi ora di un gas più denso, le condensazioni avranno una massa minore.

Facendo il calcolo si trova che queste masse hanno un valore analogo alla massa delle stelle. Dalle condensazioni formatesi nel caos originario hanno avuto luogo le nebulose, dalle condensazioni formatesi in queste nebulose avranno luogo questi genitori delle stelle, che chiamiamo « protostelle ».

Per la nascita delle stelle esiste però una condizione assolutamente necessaria: la nebulosa, che si è formata da una condensazione del gas caotico primitivo, deve essere animata da un movimento di rotazione. Se questo manca, la nebulosa è perfettamente sferica e non esiste in essa attorno all'equatore quello strato di materia in cui si devono formare le condensazioni che danno poi luogo alle stelle. A conferma di ciò, con nessun telescopio, per quanto potente, si riescono a vedere stelle nelle nebulose del tipo della nebulosa della Vergine; esse appaiono proprio come masse di solo gas, perfettamente sferiche.

Una nebulosa in rotazione si suddivide in protostelle; la rotazione della nebulosa darà luogo alla rotazione della protostella. Quindi non soltanto queste ultime conservano quel moto di insieme che aveva la nebulosa, ma posseggono anche, ognuna di esse, un moto di rotazione intorno a se stesse. In particolari condizioni, questa rotazione può essere tale che la stella si spezzi in due; da allora in poi, queste due stelle continuano a ruotare l'una intorno all'altra, ognuna sulla sua orbita; è questa una di quelle coppie che passeggiano teneramente nei sentieri oscuri del cielo.

Così sono nate le nebulose e le stelle. Ma... e il sistema solare? Non è vergognoso restare interdetti proprio ora che, dopo tanto girovagare, torniamo a casa nostra? No, non è vergognoso, perchè non è proprio colpa degli astronomi se ancora oggi non esiste una teoria sicura sulla genesi dei sistemi planetari; essi ci si sono messi con tutta la buona volontà.

Dal primo tentativo di Cartesio, fatto nel 1644, ad oggi sono state fatte le più varie teorie, nessuna delle quali però ha potuto sostenere il confronto con i dati sperimentali. L'ultima di queste teorie è senza dubbio la migliore ma certamente non sarà la definitiva. Per il momento siamo costretti ad accontentarcene.

Dallo studio del nostro sistema planetario [1] si è giunti alla conclusione che esso presenta diverse notevoli regolarità: prima di tutto le orbite dei pianeti sono quasi tutte praticamente circolari e giacciono più o meno sullo stesso piano che coincide con il piano equatoriale del Sole; i pianeti percorrono queste orbite muovendosi tutti nello stesso verso.

In secondo luogo le distanze dei pianeti dal Sole non hanno valori a caso, ma ubbidiscono tutte a una certa legge piuttosto semplice: essi si trovano scaglionati nello spazio con regolarità.

In terzo luogo — come già notammo in quel paragrafo che aveva per titolo « I pianeti » — questi si dividono in due gruppi: i quattro pianeti interni (Mercurio, Venere, Terra, Marte) e i quattro pianeti esterni (Giove, Saturno, Urano e Nettuno) separati dalla folla dei pianetini. I pianeti interni sono relativamente piccoli, molto densi e hanno pochi satelliti; gli esterni, invece, sono più grandi, poco densi e hanno diversi satelliti.

Infine, man mano che dal Sole si procede verso l'esterno, la velocità con cui i pianeti percorrono la loro orbita va aumentando: il Sole gira lentamente intorno a se stesso, Marte percorre la sua orbita più rapidamente..., Nettuno gira velocissimamente.

[1] Da tutte queste considerazioni è escluso il pianeta Plutone il quale ha caratteristiche del tutto anomale.

Ora qualsiasi teoria si costruisca sulla origine del sistema planetario, essa deve giustificare queste e altre varie regolarità; purtroppo però questa teoria ideale non è stata ancora trovata.

Una vecchia ipotesi che riprende vita

La scoperta della legge della gravitazione universale fatta da Newton, fece immediatamente scartare la teoria proposta da Cartesio sulla origine del sistema solare; Newton stesso la criticò moltissimo ma, strano a dirsi, non per ragioni scientifiche bensì per ragioni... morali. Comunque essa fu messa da parte finchè nel 1755 Emanuele Kant propose una sua teoria, la quale però non riusciva a rendere conto dell'ultima regolarità, cioè della diversa velocità con cui i pianeti percorrono le loro orbite. Quindi anche questa teoria fu scartata e, con l'andar degli anni, ne furono proposte altre, ognuna delle quali, però, mostrava qualche manchevolezza; una ne cadeva e un'altra ne sorgeva. Kant era partito dall'ipotesi di un Sole circondato da un involucro gassoso, nel quale e dal quale si fossero formati poi i pianeti; altri invocarono, per la formazione dei pianeti, l'azione del campo magnetico solare, un altro propose l'urto del Sole con una cometa, un altro ancora utilizzò l'enorme onda di marea che sarebbe stata provocata sul Sole dall'avvicinarsi di un'altra stella, altri infine proposero teorie che partivano dall'ipotesi che il Sole fosse in origine un membro di un sistema binario o addirittura di un sistema multiplo.

Come vedete, la fantasia certamente non manca agli astronomi. Ma dopo quasi 250 anni di tentativi, ci si è accorti che, tutto sommato, la vecchia teoria di Kant non era poi tanto sbagliata quanto si era creduto e che, in definitiva, essa è probabilmente la più promettente di tutte le teorie esistenti. Ecco perchè, muniti di tutte le armi matematiche e fisiche scoperte in questi due secoli e mezzo, alcuni astrofisici moderni hanno ripreso il vecchio tentativo e sono partiti anch'essi dall'ipotesi di un Sole circondato da un involucro gassoso. E sono giunti, per ora, al risultato che vi racconterò.

Dunque ecco il Sole che ruota su se stesso circondato dal suo involucro gassoso. Non si deve però immaginare che si trattasse di un gas molto denso: in un centimetro cubo era contenuto soltanto un mille milionesimo di grammo di materia; una densità assolutamente trascurabile, che darebbe a noi l'impressione di trovarci in un vuoto estremamente spinto.

A causa della rotazione, questo involucro assume la forma di un disco. Ecco dunque tutto un sistema in rotazione, formato da un nucleo centrale, in cui vi è condensazione di materia, e da un disco gassoso.

Se questo sistema fosse un corpo rigido, esso ruoterebbe, per così dire, tutto d'un pezzo; cioè durante la rotazione, ogni parte manterrebbe immutata la sua posizione rispetto alle altre; quindi le parti esterne — come accade, per esempio, in una ruota che gira — avrebbero una velocità maggiore di quelle interne. Ma questo sistema non si comporta affatto come un corpo rigido; e se si fa il calcolo matematico (un poco complicatuccio, in verità) si trova che le differenti parti si muovono con velocità diversa: e precisamente le particelle di gas si muovono tanto più piano quanto più sono lontane dal centro. È proprio il contrario di ciò che accade nella rotazione di un corpo rigido.

Ma questa rotazione non procede a lungo indisturbata. Perchè le particelle più interne — che sono quelle che ruotano con velocità maggiore — vengono frenate dalle particelle contigue più esterne che hanno velocità leggermente più piccola, mentre le particelle più lontane dal centro — cioè quelle che hanno la velocità minore — vengono trascinate da quelle più interne che hanno velocità maggiore. Se vogliamo usare un linguaggio un po' più scientifico, possiamo anche dire che in questo sistema in rotazione si creano ben presto delle forze viscose che tendono a rallentare le parti interne e ad accelerare quelle esterne.

A causa di queste forze, le particelle più interne del gas finiscono col cadere sul Sole mentre quelle che si trovano al bordo si disperdono nello spazio. E nell'interno dell'involucro si formano qua e là alcuni vortici che, in ultima analisi, portano alla formazione di nuclei di condensazione.

Ma questi nuclei, intorno ai quali, come vedremo, finirà poi per raccogliersi tutto il gas dell'involucro, non sono sparsi a

capriccio qua e là; ma si formano scaglionati nell'involucro a distanze regolari; le leggi della idrodinamica mostrano che le distanze di questi nuclei di condensazione dal Sole ubbidiscono proprio a quella legge semplice a cui accennavamo nel paragrafo che avete letto poco fa che aveva per titolo « La nascita del sistema solare ».

Inoltre il primo gruppo di regolarità presentato dal sistema planetario (orbite circolari che vengono percorse dai pianeti tutte nello stesso verso) risulta direttamente dal fatto che il sistema di vortici creato dalle forze viscose è un sistema regolare e che la condensazione ha luogo in un disco in rotazione.

Concludendo, questa teoria rende conto delle regolarità delle orbite dei pianeti, del loro regolare scaglionamento e del fatto che i pianeti esterni ruotano a velocità maggiore dei pianeti più interni.

Mi sembra che non ci sia proprio male, non è vero?

Resta ora un ultimo passo: perchè i pianeti interni sono più pesanti e più piccoli, mentre quelli esterni sono più leggeri e più grandi? Se permettete, premetto soltanto due parole di chimica, ma due soltanto: eccole. Quando delle sostanze gassose si condensano, questa condensazione dipende dalla temperatura. E precisamente: quanto più bassa è la temperatura, tanto maggiore è il numero delle sostanze che si condensano.

Ciò premesso, ritorniamo a quel disco gassoso che si trova intorno al Sole. In questo disco la temperatura — come dimostra il calcolo matematico — è massima al centro e diminuisce man mano che ci allontaniamo verso il bordo. Quindi, quando comincia la condensazione, nelle parti più vicine al Sole condenserà un numero minore di sostanze; ecco perchè, in definitiva, i pianeti più interni saranno più piccoli dei pianeti esterni.

Ma come mai questi pianeti esterni, che sono più grandi, hanno poi una densità minore? È presto spiegato. Quelle sostanze che condensano alle temperature più alte della parte più interna del disco gassoso, sono proprio quelle che hanno una densità maggiore e precisamente sono le sostanze inorganiche. Alla condensazione di queste sostanze si aggiunge, nei pianeti esterni, la condensazione delle sostanze organiche, che hanno una densità piccolissima; tanto piccola, anzi, che in complesso la densità dei pianeti esterni è minore di quella dei pianeti interni.

Tutto ciò è, naturalmente, dimostrato dal calcolo matematico; siete annoiati di trovarvi sempre tra i piedi questa matematica? Forse voi ne siete annoiati; ma gli astronomi, vi assicuro, ne sono ben contenti.

Origine dei satelliti

Durante la loro formazione i pianeti sono circondati — proprio come era avvenuto per il Sole — da atmosfere. Ebbene, accade in queste atmosfere ciò che era accaduto nell'involucro gassoso che circondava il Sole. Si formano dei vortici, poi dei nuclei di condensazione: assistiamo così alla nascita dei satelliti.

Ricordate che avevo promesso che avrei spiegato perchè il numero dei satelliti dei vari pianeti varia man mano che ci si allontana dal Sole e precisamente perchè i pianeti più interni hanno un numero di satelliti minore del numero di satelliti posseduto dai pianeti più esterni? Bene, avevo promesso e mantengo la parola: i pianeti esterni, più grandi, hanno trattenuto intorno a sè — per la legge della gravitazione — una atmosfera più estesa; ma atmosfera più estesa ha voluto dire maggior numero di nuclei di condensazione, cioè maggior numero di satelliti.

Ecco perchè mentre, per esempio, Giove ha 11 lune, il cielo di Mercurio e di Venere non conosce mai la blanda luce lunare.

Così questa teoria che Weizsäcker e Ter Haar hanno costruito partendo dalla vecchia, semplice ipotesi di Kant di un Sole circondato da un involucro gassoso, riesce a rendere conto delle principali regolarità presentate dal sistema planetario. Vi sono però ancora numerosi punti oscuri. Riuscirà la teoria a chiarirli?

Per riassumere, niente di più semplice che scrivere un albero genealogico il quale renda evidente il succedersi delle diverse generazioni dei corpi celesti.

Dunque:

CAOS

NEBULOSE

PROTOSTELLE

SISTEMI BINARI

STELLE SEMPLICI

PIANETI

SATELLITI

Quale albero genealogico terrestre può vantare origini così antiche?

Conclusione

E ora punto e basta; è giunto il momento di scrivere la parola « fine ».

Abbiamo percorso insieme gli spazi a velocità enorme, abbiamo misurato fantastiche distanze, abbiamo contato milioni e milioni di soli. Torniamo ora sulla piccola, cara Terra, alla nostra vita di tutti i giorni. Abbagliati da tanta immensità, vi torniamo forse con il senso, un po' triste, della nullità dell'uomo dinanzi all'Universo. Ed è vero: l'uomo è infinitamente piccolo e il suo mondo è meno che nulla nello spazio. Ma l'uomo è l'*astronomo*: colui che è stato capace di scandagliare quelle immensità, di misurare quelle distanze, di contare quei soli; la sua mente abbraccia l'Universo e il suo spirito risuona con la Divinità.

LIBRO II
la Terra

Introduzione

Un bel giorno, tanti e tanti anni fa, è sorta nello spazio una bella casina la quale per molto tempo è rimasta disabitata; su di essa ha risuonato la pioggia; è stata lavata dalle acque e coperta dalle nevi. Poi, timidamente, sono comparsi in essa i primi esseri viventi: animali piccoli e piccole piante. Ma poco per volta ecco pullulare la vita: animali sempre più grossi, vegetazione lussureggiante; essa risuona ora di gridi e di fruscii ed è teatro dell'eterna lotta per l'esistenza.

E così passano gli anni finchè, poco tempo fa, un nuovo, strano animale vede la luce in questa bella dimora: un uomo. Egli è terrorizzato; terrorizzato dalle bestie che lo circondano e lo minacciano, terrorizzato dalle tenebre della notte. Ma poco per volta da fuggiasco diventa cacciatore, da schiavo diventa signore.

E allora comincia a guardarsi intorno e comincia ad amare la sua casa: la ama per l'ospitalità che essa gli offre, per i suoi

splendidi panorami, la ama perchè essa è così indissolubilmente legata alla sua vita. L'uomo comincia ad amare la Terra che lo ospita.

E si chiede con curiosità: quale è il passato della Terra? Da quanto tempo essa ruota nello spazio? Che cosa è avvenuto su di essa in tanto e tanto tempo?

Sono queste le domande alle quali vorrei rispondere nella chiacchierata di oggi. Perciò andiamo un po' in giro insieme e vi mostrerò le bellezze e le stranezze di questa nostra cara dimora.

COME È FATTA LA TERRA

Costituzione della crosta terrestre

Mi sembra logico riprendere il discorso proprio lì dove lo avevamo lasciato alla fine della prima parte: perchè e come dalla originaria nebulosa solare si sono staccate quelle parti che hanno poi formato la Terra e gli altri pianeti? Come ho detto, non esiste ancora oggi una sicura risposta definitiva a questa domanda; ma qualunque sia la risposta che le daranno gli astronomi di domani, una cosa è oggi generalmente ammessa come sicura: la Terra, nel primo stadio della sua evoluzione, aveva una temperatura talmente alta che non soltanto il suo interno ma anche tutte le sue parti superficiali si trovavano allo stato fuso.

Questo globo di materia fusa ruotava intorno al Sole disperdendo calore nello spazio; e per questo progressivo raffreddamento la parte liquida cominciò a consolidarsi; si formava così una sottile crosta che era continuamente spezzata dalla materia fusa sottostante la quale, appunto perchè fusa, era sottoposta a intense forze di marea; cominciava così il secondo periodo

della vita della Terra, periodo che dura tuttora e che prende il nome di « periodo geologico ». In alto intanto, al di sopra della crosta, si andava addensando una enorme quantità di vapor d'acqua e di altri gas; così la Terra ebbe la sua prima atmosfera: una atmosfera rovente e umida.

E questa grande quantità di vapor d'acqua si addensò tutto intorno alla Terra in fittissime nuvole che impedivano ai raggi del Sole di venire a rallegrare il desolato paesaggio di quaggiù. Conosciamo un pianeta il quale ancora oggi (almeno si crede) si trova in questa triste situazione: questo pianeta è Venere. Ciò che vediamo di Venere non sarebbe la sua superficie ma soltanto la luce del Sole riflessa dal suo mantello di nuvole.

Intanto da quell'oscuro tetto nuvoloso, sotto il quale la Terra era nascosta, cadeva verso il suolo una continua pioggia. Ma la crosta era ancora tanto calda che questa pioggia non faceva in tempo a giungere sulla superficie della Terra, che già era di nuovo trasformata in vapore. Situazione senza via di uscita se piano piano la crosta non fosse andata raffreddandosi sempre più finché, finalmente, la pioggia potè scrosciare liberamente sul suolo. Rabbrividisco anch'io di refrigerio al pensiero di quel suolo, fino allora rovente, che per la prima volta sente scorrere su di sè l'acqua in rigagnoli e ruscelli.

Ma questa crosta, con la quale ebbero inizio le primissime rocce ignee, non formava un involucro rigorosamente regolare; per gli effetti del moto di rotazione della Terra, delle maree della massa fusa che essa ricopriva, ecc., la crosta originaria si deformava formando qua e là conche e rilievi. E l'acqua che cade, rimbalza, scorre, va a raccogliersi in quelle conche: sulla Terra si formano così i primi oceani e le prime terre emerse. Pian piano, mentre il vapor d'acqua dell'atmosfera si trasforma in acqua rimbalzante e corrente, il cielo si schiarisce; il primo raggio di sole filtra tra le nuvole.

Passano gli anni; milioni e milioni di anni. Quale è, oggi, la costituzione interna di questa nostra Terra? Per rispondere a questa domanda sarebbe senza dubbio comodo poter rompere questa palla quasi rotonda; ma, non potendo far ciò, dobbiamo accontentarci di cercare di capire dal di fuori quel che c'è dentro.

Qualcuno penserà che esistono miniere e sondaggi che giungono ben profondi nella Terra e che si potrebbe approfittarne per chiarirsi un po' le idee; ma io rispondo: miserie! Che cosa volete che siano i 6 chilometri del più profondo sondaggio a confronto dei 6300 chilometri del raggio terrestre? Nè più nè meno che confrontare l'altezza di un uomo con un monte alto 2000 metri.

Ci si rivolge allora, per informazioni, a qualche cosa che ha il permesso di circolare laggiù; questo qualche cosa sono le *onde sismiche,* cioè le vibrazioni prodotte dai terremoti; non tutto il male viene per nuocere e anche i terremoti servono a qualche cosa.

Quando in un certo punto della Terra avviene un terremoto, le vibrazioni da esso provocate si propagano su tutta la Terra e, con apparecchi opportuni, possono essere registrate in luoghi che si trovano lontanissimi dal punto infortunato. Non tutte le onde sismiche però si propagano lungo la superficie terrestre; alcune di esse si fanno strada nell'interno di essa. Perciò quando in un punto avviene un terremoto, l'apparecchio lontano riceve successivamente diverse onde che hanno percorso cammini diversi. Dallo studio delle diverse velocità di propagazione di queste onde e dalle diverse modalità di questa propagazione (come anche da altri elementi indipendenti) i geofisici sono giunti alle seguenti conclusioni sulle quali sono tutti d'accordo.

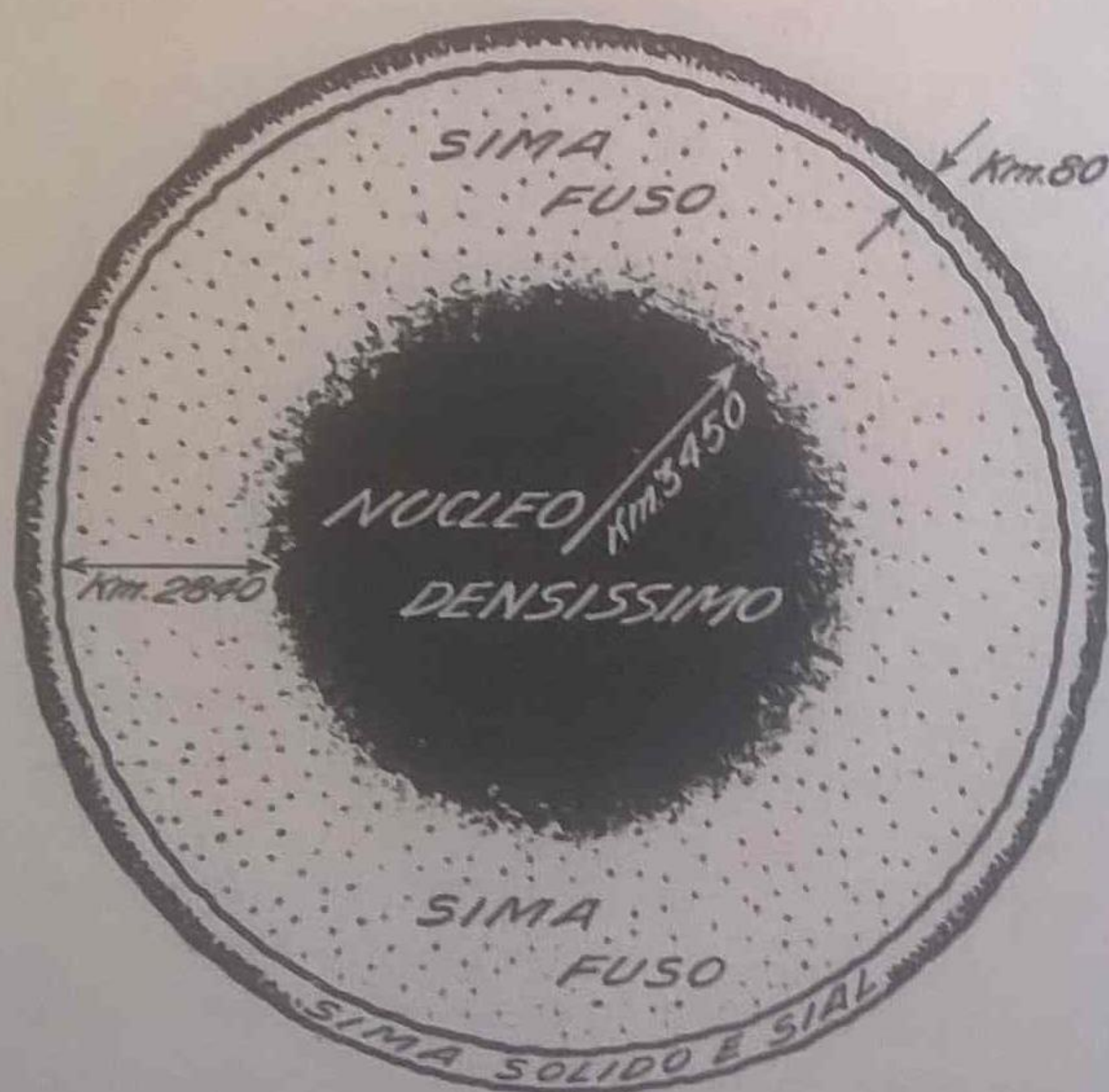
La crosta terrestre è costituita di due strati, uno superiore più leggero e uno sottostante più pesante; poichè lo strato più esterno (il più leggero) è costituito essenzialmente di silicio e alluminio, esso viene chiamato *Sial*; e poichè lo strato sottostante è costituito essenzialmente di silicio e magnesio, esso vien chiamato *Sima*. Il Sial, però, non forma intorno al Sima uno strato continuo e uniforme ma ha uno spessore massimo in corrispondenza dei continenti e minimo, o addirittura nullo, in corrispondenza degli oceani.

Comunque sia, cioè sia sotto i continenti che sotto gli oceani, a una profondità di circa 80 km, il Sima passa allo stato di fusione a causa della altissima temperatura. Infatti nell'interno della Terra ci fa un gran caldo; anzi più si scende in basso e più caldo si sente. Precisamente ogni metro, più o meno, la temperatura

aumenta di un grado; è questa una cosa che sanno molto bene, per spiacevole esperienza, i minatori e tutti coloro che lavorano nella costruzione dei tunnel.

Di questo passo a una profondità di 80 km regna una temperatura tanto alta che il Sima si trova allo stato fuso. E allora? La Terra non sarebbe che una enorme massa allo stato di fusione circondata da una sottile crosta solida? No, perchè ora entra in giuoco qualche altra cosa.

Questa altra cosa è la pressione. Sulla superficie della crosta terrestre agisce la pressione atmosferica la quale è di circa un chilo su ogni centimetro quadrato. Ma man mano che procediamo verso il centro della Terra, ogni strato subisce la pressione di tutti gli strati superiori; questa pressione deve ben presto diventare enorme. Ebbene, a una certa profondità questa pressione compensa l'effetto della temperatura: le rocce che si troverebbero fuse per effetto della sola temperatura, non lo sono più a causa della pressione.

La propagazione delle onde sismiche mostra che alla profondità di 2900 chilometri c'è un brusco e forte cambiamento: comincia il *nucleo* terrestre, densissimo, il quale si comporta come una massa essenzialmente rigida (per le parti profonde si calcola una rigidità più che doppia di quella dell'acciaio); la pressione raggiunge il valore (più o meno) di 2 o 3 milioni di atmosfere!

SEZIONE IDEALE DELLA TERRA

Che il nucleo terrestre debba essere densissimo è richiesto anche dal fatto che mentre la densità della parte della Terra accessibile alla nostra osservazione è soltanto di 2,6, la densità media di tutta la Terra è 5,52; quindi la alta densità del nucleo (che si calcola di 10 o 12) deve compensare la bassa densità superficiale.

Riassumendo, ecco quindi la descrizione di questa palla quasi rotonda che si chiama Terra. Nell'interno un nucleo centrale densissimo il cui raggio è di circa 3450 chilometri; intorno uno strato di Sima fuso di circa 2840 km. di spessore e infine una sottile crosta solida costituita di Sima solido e di Sial (con spessori variabili) di circa 80 km. di spessore. Naturalmente da uno strato all'altro non si passa con una netta linea di separazione, ma tutto avviene per gradi.

Ipotesi sulla costituzione del nucleo terrestre

E ciò va bene (pare) per tutti. Ma c'è un punto sul quale i geologi discutono accanitamente: di che cosa è fatto questo densissimo nucleo?

Fino a non molto tempo fa prevaleva il concetto della differenziazione gravitativa; cioè, in parole povere, si pensava che quando la Terra era incandescente, i vari elementi chimici si fossero più o meno disposti nel suo interno secondo il loro peso: i più pesanti al centro e i più leggeri via via verso la superficie. Ecco, quindi, un nucleo metallico costituito essenzialmente di nichel e ferro (chiamato perciò *Nife*) circondato da uno strato di Sima (silicio e magnesio) e poi da uno strato di Sial (silicio e alluminio); intorno a tutto ciò il vaporoso strato atmosferico.

Recentemente però alcuni studiosi (Kuhn e Rittmann) hanno ritenuto inammissibile questo concetto della differenziazione gravitativa con la conseguente formazione di un nucleo metallico; ed essi hanno elaborato una nuova teoria sulla base dei risultati delle ricerche più recenti nei campi della chimica-fisica, della fisica terrestre e di altre scienze. Secondo questa teoria, nel nucleo ter-

restre è rimasta inalterata la materia solare originaria, la cui altissima densità è dovuta all'enorme grado di compressione a cui essa deve trovarsi; durante tutta l'evoluzione della Terra si sono prodotte modificazioni soltanto nella zona superiore, modificazioni che hanno portato, nella parte più esterna, alla costituzione del Sima, del Sial, della atmosfera (con quelle caratteristiche che oggi osserviamo) e delle depressioni nelle quali si sono raccolte le acque oceaniche.

Allora, nucleo metallico o nucleo solare? Mah! I geologi, aiutati dal tempo, dagli astronomi, dai chimici, dai fisici ecc., decideranno.

Rocce eruttive

Le prime rocce, dunque, derivarono dalla solidificazione delle parti fuse più superficiali delle masse terrestri: esse erano *rocce eruttive*; poichè si chiamano *eruttive* quelle rocce che hanno origine dal consolidamento di masse fuse.

La parte che si trovava al di sotto di questo primo guscio solido rimase allo stato fuso e costituì il *magma* originario.

Le masse fuse interne della Terra possono però farsi strada verso l'esterno: e possono allora avvenire due cose: o esse traboccano all'esterno da spaccature della crosta solida o da condotti vulcanici (e si chiamano allora *lave*); oppure si solidificano nell'interno della crosta terrestre mandando tutt'al più qualche tentacolo verso la superficie (e si chiamano allora *plutoniti*). Le lave e le plutoniti sono rocce eruttive.

Tutte le rocce eruttive presentano una grande uniformità dal punto di vista della loro costituzione chimica: esse sono formate in gran parte di silice (ossido di silicio) che ne costituisce circa il 70%; il restante è ossido di alluminio, di ferro, di calcio, ecc.

Tra le rocce eruttive troviamo tanti nomi noti: ecco i graniti (che sono tra le più ricche di silice), i basalti, diffusissimi ovunque (dall'Italia all'Africa, alla Groenlandia, alla Patagonia, all'India), le leuciti, volgarmente chiamate « i selci », ca-

ratteristiche del vulcano laziale e molto usate per i lastricati delle vie di Roma, ecc. E in questo eccetera ne sono sottintese un gran numero i cui nomi (che finiscono quasi tutti in « iti », come sieniti, dioriti, teraliti, ijoliti, ecc.) costituirebbero qui, mi sembra, un arido e del tutto inutile elenco.

Rocce sedimentarie

Ma per quanto le rocce eruttive abbiano un'assoluta prevalenza nella costituzione della crosta terrestre, non ne sono gli unici costituenti. Il 5 per cento della parte solida della Terra è costituito da rocce di tipo diverso dette *rocce sedimentarie*: esse rappresentano, come vedremo, una parte molto importante nel bagaglio di ogni buon geologo.

Si ha una sedimentazione quando materiali sospesi, o disciolti, nell'acqua o sospesi nell'aria si depositano in un bacino di acqua o sul suolo per effetto della gravità o di reazioni chimiche; e i materiali così depositati costituiscono i *sedimenti*.

La sedimentazione più grandiosa è quella che avviene sul fondo del mare: su questo infatti vanno continuamente depositandosi il fango, la sabbia, i ciottoli portati dai fiumi, il sale, il gesso, il carbonato di calcio che si trovano disciolti nelle loro acque, i cadaveri degli animali che si trovano nelle acque del mare o nuotano a vari livelli o abitano sul fondo, le ceneri e i lapilli eruttati dai vulcani, il legname trasportato dai fiumi, le piante acquatiche.... Parleremo più avanti di questo grandioso fenomeno di sedimentazione che produce rocce sedimentarie, caratteristiche per il loro aspetto stratificato, le quali concorrono alla formazione delle montagne.

Ecco dunque questi sedimenti che lentamente ma continuamente, per milioni di anni, vanno depositandosi sul fondo del mare. Essi però non restano là, così come si son formati: anche durante la loro costituzione, o subito dopo, subiscono profonde modificazioni. Perchè un povero sedimento non si trova mai in una piacevole condizione: già quando si forma esso subisce la pressione di tutta la massa d'acqua sovrastante; e questa pres-

sione aumenta man mano che su di esso vanno accumulandosi altri depositi; e il materiale così costipato si cementa per l'azione chimica dell'acqua che lo imbeve; e gli organismi in esso sepolti si decompongono; e i batteri lavorano...

Così i sedimenti si trasformano; essi non sono più un insieme incoerente di brecciame, ghiaietta, sabbia, fango, vegetali, ma, a causa dei processi chimico-fisici e meccanici a cui sono soggetti, sono ora profondamente modificati; essi sono divenuti *rocce sedimentarie*. E saranno carboni fossili, se derivano dalla trasformazione di accumuli vegetali per azione, essenzialmente, di microrganismi: rocce silicee, in gran parte di origine organica, e poi gessi, salgemma, ferro, marmi, dolomie, argilla, ardesia, arenaria, tufo....

C'è da accontentare tutti: dall'artista all'industriale, dal muratore all'alpinista.

Rocce metamorfiche

Ma non abbiamo ancora finito con le rocce. Perchè oltre alle rocce eruttive e alle sedimentarie esiste in questa nostra Terra un altro tipo di rocce (rallegratevi, chè è l'ultimo): le rocce metamorfiche. Ecco, in due parole, di che cosa si tratta.

Sulle rocce già formate, siano esse rocce eruttive siano rocce sedimentarie, si svolge un altro ordine di fenomeni i quali vi provocano trasformazioni così intense da dare origine a un nuovo gruppo di rocce il quale, talvolta, differisce profondamente sia dalle rocce eruttive che dalle stratificate. Questi fenomeni di trasformazione si chiamano *fenomeni di metamorfismo* e le rocce che ne derivano prendono il nome di *rocce metamorfiche*. Quali sono questi fenomeni di trasformazione così potenti?

Ritorniamo a guardare quel disgraziato sedimento che già durante la sua trasformazione in roccia sedimentaria continuava a sentirsi accumulare sul capo altri sedimenti; esso, ormai trasformato in roccia, sotto l'enorme, crescente peso, non può che affondare e affondare; si ha cioè un abbassamento del fondo marino in corrispondenza della depressione in cui avviene la sedi-

mentazione, depressione che può essere di enorme estensione. Queste depressioni, o fosse marine, che sono sede di tali fenomeni, sono, come vedremo, così importanti che hanno meritato un nome speciale: esse si chiamano *geosinclinali*.

Dunque man mano che i sedimenti si accumulano, il fondo della geosinclinale si abbassa; e questo abbassamento interessa non soltanto il Sial ma anche il Sima, poichè esso può raggiungere anche diverse decine di chilometri. La roccia affonda, la depressione aumenta, la temperatura aumenta; nulla di strano che questo aumento (che a grandi profondità raggiunge valori altissimi) sia della pressione che della temperatura, provochi una grandissima trasformazione della roccia originaria: fratturazione più o meno minuta dei cristalli, formazione di nuovi cristalli più o meno grossi di nuove specie di minerali, ecc. Finchè, se la roccia raggiunge la profondità ove si trova il magma fuso, si giunge alla completa fusione della massa, la quale assume le caratteristiche di un vero e proprio magma. Ecco così un granito che *non* è, in questo caso, una roccia eruttiva, ma ha origine da una roccia sedimentaria passata attraverso tutte le gradazioni di metamorfismo: da una roccia eruttiva di tipo granitico, demolita dagli agenti esterni, derivano materiali sabbiosi e argillosi che si depositano in sedimenti; questi, trasformati per metamorfismo, danno luogo nuovamente a una roccia granitica: è morto un granito, ne è nato un altro.

Ciò non esclude, però, che molti graniti siano realmente eruttivi, abbiano, cioè, avuto origine da magmi veri e propri.

Ci siamo soffermati sul metamorfismo delle rocce sedimentarie. Ma non bisogna dimenticare che il metamorfismo può avvenire anche sulle rocce eruttive.[1]

L'isostasia

In verità i geologi scrivono volumi e volumi sui vari tipi di rocce, la loro costituzione, la loro trasformazione ecc. Io, natu-

[1] Si chiamano *ortoscisti* le rocce metamorfiche derivate da rocce eruttive e *parascisti* quelle derivate da rocce sedimentarie.

LA CROSTA TERRESTRE NON HA UNO SPESSORE UNIFORME

ralmente, mi accontento di questi pochi cenni che costituiscono un prologo che riconosco molto noioso ma che è veramente necessario; perchè bisogna pur conoscere un po' di che cosa è fatta questa nostra Terra per avere poi il diritto di sapere che cosa è accaduto su di essa col passare degli anni.

Quindi, a rigore, il prologo potrebbe chiudersi qui. Ma voglio aggiungere ancora un piccolo paragrafo che in seguito ci sarà utile: voglio dire che cosa è l'*isostasia*.

Ritorniamo alla sottile crosta solida che galleggia sul magma fuso. Come tutti i galleggianti di questo mondo, essa segue il principio di Archimede: in parole povere, essa fa quello che fa una barca: più è carica e più affonda. Di conseguenza essa non può avere uno spessore uniforme: e si comprende subito il perchè. Al di sotto delle montagne, a causa del maggior peso, la crosta è profondamente immersa nel magma; al di sotto dei mari, invece, essa deve essere sottile; e anzi sarà tanto più sottile quanto più profondo è il mare. La figura può dare un'idea dell'andamento inferiore della crosta: la parte in nero rappresenta il magma.

Questa teoria, secondo la quale la crosta terrestre sarebbe nè più nè meno che un galleggiante, il quale perciò galleggia secondo il principio di Archimede, si chiama teoria isostatica o teoria dell'*isostasia*.

Quando, per una causa qualunque, su una parte della crosta terrestre il carico aumenta, questa parte affonda nel magma sottostante: naturalmente se poi questo sovraccarico sparisce, la crosta risale lentamente al suo livello iniziale.

È proprio ciò che è accaduto alla Scandinavia. In un periodo non tanto lontano da noi, soltanto qualche diecina di migliaia di anni fa, essa è stata ricoperta da una enorme calotta di ghiaccio, che aveva uno spessore di più di mille metri; racconterò poi come mai sia accaduto un fenomeno così gelido. Sotto questo peso inusitato la Scandinavia è, in parte, affondata nel magma; quando poi il ghiaccio si è fuso, essa, lentissimamente, si è risollevata per ritornare al livello primitivo, che però non ha ancora raggiunto; e ancora oggi la Scandinavia va sollevandosi di circa un metro al secolo. Non si tratta certo di balzi pericolosi ma da parte di una penisola non credo che ci si potrebbe aspettare di più.

A proposito della Scandinavia e della sua calotta di ghiaccio, voglio raccontare una cosa molto graziosa. Che cosa accade quando schiacciamo uno di quei piccoli panini freschi che si mangiano a colazione? Esso fa un delizioso « cric » e si spacca lungo il bordo; così è accaduto alla Scandinavia: sotto il peso del ghiaccio essa non ha fatto nessun delizioso « cric » ma si è spaccata lungo il bordo: queste spaccature sono i fiordi.

COME CAMBIA LA FACCIA DELLA TERRA

TAVOLA VII

Uno dei giganteschi ghiacciai dell'Alasca, il Barnard, striato di morene longitudinali e alimentato da ghiacciai laterali (*Foto Bradford Washburn*).

Non c'è nessuno, credo, che non abbia in campagna il suo cantuccio preferito: la cima di una collina, una valletta ombrosa, la riva di un ruscello. E il ricordo di questo cantuccio affiora di tanto in tanto durante l'affannosa vita quotidiana; è un ricordo e una promessa di pace. La vita passa su di noi; mutano i nostri sentimenti, le nostre aspirazioni, muta il nostro aspetto: ma quando siamo lì, in quel luogo ben noto dove tutto rimane immutato, ritroviamo noi stessi e la nostra irrequietudine si placa nella immutabilità delle cose.

Ma questa immobilità è soltanto apparente perchè impercettibilmente e inesorabilmente tutto muta: i continenti, i mari, le pianure, le montagne hanno una storia lunga miliardi di anni che li ha portati ad essere quali oggi sono. È una lunga storia di demolizione e di ricostruzione: i fiumi trasportano materiali solidi dall'interno dei continenti al mare dove li depositano, i vulcani eruttano ceneri e lave, i terremoti producono o aumentano dislivelli della superficie terrestre, forze potenti producono le grandi catene montuose che attraversano i continenti.

Questo incessante processo, così lento da sfuggire alla osservazione diretta dell'uomo, ha prodotto, in milioni di anni, cambiamenti enormi sulla superficie della Terra.

L'erosione

Chiare, fresche e dolci acque

Dunque milioni e milioni di anni fa (e presto vedremo quanti), sulla Terra si formarono i primi oceani e le prime terre emerse; potè così iniziarsi l'opera delle acque correnti e degli altri agenti esterni i quali attaccavano e demolivano le zolle emerse trascinando i detriti nei bacini oceanici.

Fermiamoci ad osservare questa opera di demolizione.

La principale responsabile di questa continua azione distruttrice è.... la chiara, fresca e dolce acqua. I rigagnoli di pioggia scavano solchi nei terreni poco resistenti e trasportano seco le particelle disgregate; i ruscelli e i torrenti trascinano queste particelle, le quali diventano, a loro volta, causa di erosione: ogni granello di sabbia, ogni ciottolo trascinato dal ruscello striscia sul fondo, lo raspa e lo logora; così nuovi granelli e nuovi ciottoli si staccano e, a loro volta, raspano e macinano e limano e logorano.

Finchè il ruscello o il fiume corre su un terreno molto pen-

I RIGAGNOLI DI PIOGGIA
SCAVANO SOLCHI...

dente, esso riesce a trascinare tutti questi detriti; ma se la pendenza diminuisce esso non vi riesce più e deposita man mano i ciottoli, la sabbia e il fango. È questo, come sappiamo, il fenomeno della *sedimentazione*; i materiali così depositati sono i *sedimenti*.

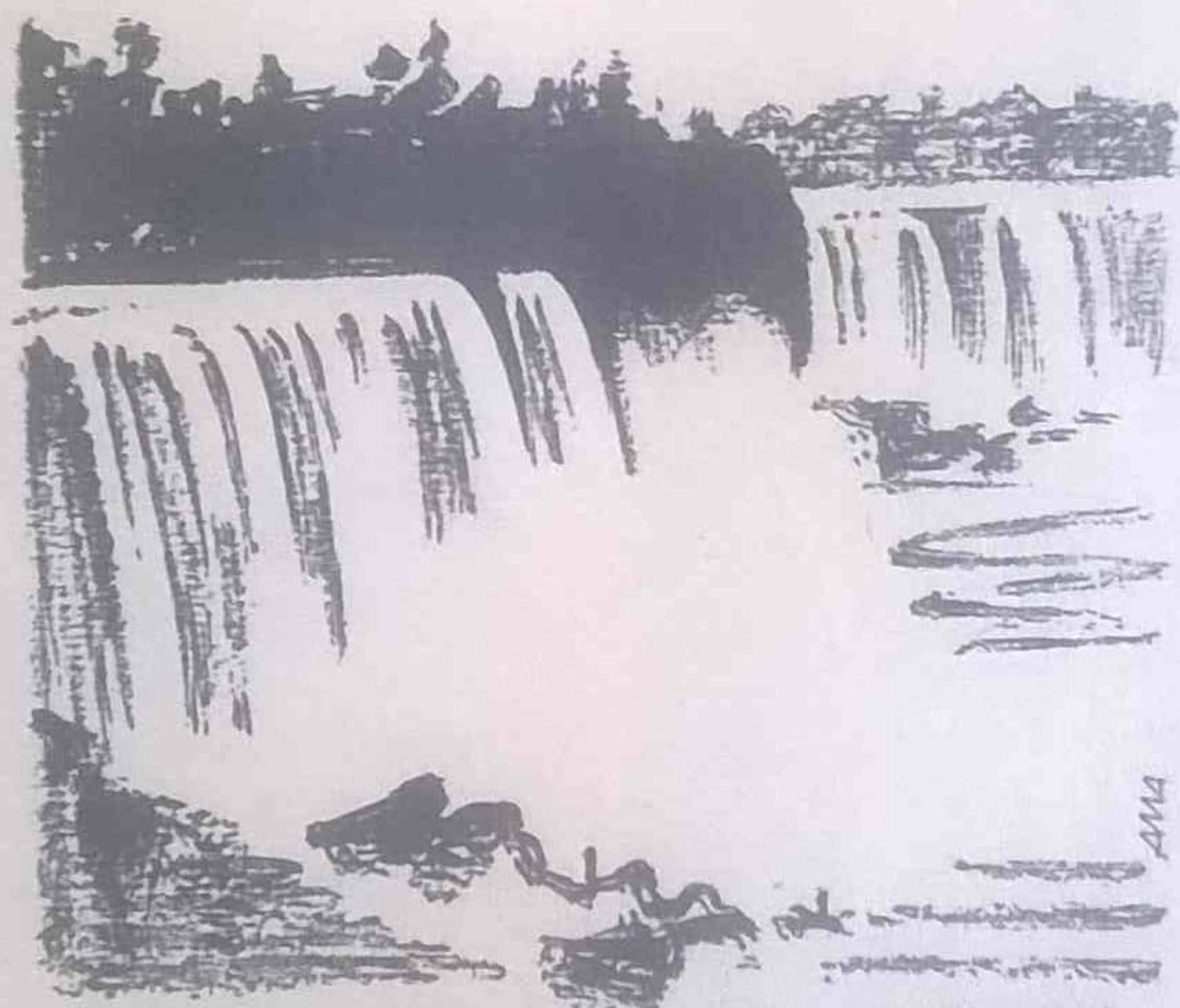
Ecco in qual modo la collina a noi cara va man mano appiattendosi e la valletta va lentamente colmandosi; ecco in qual modo, nel volgere di milioni di anni, le più grandi catene montuose hanno potuto essere demolite. Per rendersi conto della grandiosità del fenomeno, basta pensare che in un solo anno i due fiumi Mississippi e Hoang-ho riversano nel mare 700 milioni di metri cubi di sostanza che portano in sospensione: e il nostro modesto Po aggiunge ogni anno circa tre chilometri quadrati al suo delta.

L'erosione, dunque, lavora pazientemente per livellare il terreno; ma dall'accumularsi dei sedimenti nelle geosinclinali e da altri fenomeni hanno origine, come vedremo, nuovi rilievi montuosi; e su queste montagne l'erosione riprende il suo lavoro paziente.

Cascate e cañons

Se volessi soffermarmi a descrivere tutto ciò che può fare l'innocente e dolce acqua, sia che cada dal cielo, sia che scorra sulla terra sotto forma di torrenti e di fiumi, sia che, congelata

in un maestoso ghiacciaio, strisci sornionamente verso valle... se volessi raccontare tutto ciò, dovrei scrivere pagine e pagine di fitta calligrafia. Ma poichè ciò è impossibile, mi accontenterò di scrivere soltanto poche pagine di calligrafia normale. [1)]

Quando un torrente o un fiume si lancia giù quasi a perpendicolo da un gradino del terreno che era costituito da rocce abbastanza resistenti, abbiamo una *cascata*. Questa grande quantità di acqua che precipita giù fragorosamente trascinando con sè pietre e sabbia, logora rapidamente il piede della cascata in modo che ben presto il margine della cascata viene scalzato alla base

...ALTO QUASI 50 METRI...

e finisce così col crollare. Per questa ragione una cascata non rimane ferma in un posto ma retrocede lentamente e va perdendo continuamente di altezza finchè, alla fine, il livello della valle è eguagliato.

È proprio ciò che accade per la cascata del Niagara dove le enormi masse di acqua, che dal lago Eriè scorrono verso il lago Ontario, precipitano da un gradino verticale alto 50 metri:

1) La mia calligrafia normale è molto spaziosa.

uno spettacolo superbo. Il margine della cascata e la parte superiore della parete sono costituiti di calcare molto resistente, mentre le parti inferiori sono fatte di materiale molto più molle; in queste condizioni lo scalzamento e il successivo franamento del margine della cascata è molto facile e regolare; in media la cascata del Niagara arretra di 33 centimetri all'anno.

A valle della cascata vi è una gola a pareti verticali, lunga 12 chilometri. Se supponiamo che l'intensità della erosione sia stata sempre la stessa, giungiamo alla conclusione che per la formazione di quella gola sono stati necessari 36.000 anni. Inoltre, sempre supponendo che le condizioni attuali rimangano invariate, occorreranno 70.000 anni perchè la cascata possa retrocedere fino al lago Eriè e si raggiunga così un perfetto eguagliamento del livello.

Ma l'esempio più meraviglioso della corrosione provocata da una rapida corrente, è senza dubbio il cañon.

Quando un fiume ricco di acqua solca un terreno piatto in cui la pioggia o manca o è assorbita dal suolo (in modo che il fiume non abbia affluenti) esso si scava una valle a pareti quasi verticali, alte e uniformi che qualche volta hanno una straordinaria profondità.

Questo fenomeno, che si può osservare già abbastanza sviluppato in quella parte della valle del Nilo che è scavata tra i pianori elevati dei deserti libico e arabico, giunge all'apogeo del suo sviluppo in quelle strane ed enormi gole in cui scorrono alcuni fiumi che, nella parte occidentale dell'America Settentrionale, percorrono gli altipiani di Arizona, di Utah e del Colorado.

Queste profondissime gole, alle quali i coloni spagnoli diedero il nome di *cañons*, sono spesso scavate nella dura roccia fino alla profondità di migliaia di metri. Il grande cañon del Rio Colorado, per esempio, è intagliato nel calcare e in qualche punto raggiunge la profondità di 2000 metri.

Non è da fare meraviglia che per compiere un tale enorme lavoro siano stati necessari milioni di anni.

Ghiacciai

Mi rimorde un po' la coscienza per quella frase che ho scritto qualche pagina indietro a proposito dei ghiacciai; ho detto che il ghiacciaio striscia « sornionamente » verso valle; sento il dovere di giustificarmi dicendo come in realtà stanno le cose.

Nulla di più ingannevole della maestosa immobilità di un ghiacciaio: esso scintilla al sole e l'aria stessa sembra immobile e cristallina; ovunque silenzio e candore. Ma questa immobilità è soltanto apparenza: il ghiacciaio si muove continuamente, senza scosse e scivola verso valle: il ghiacciaio vive.

A una certa altezza sopra il livello del mare, quando piove, non piove... ma nevica; il che, in linguaggio un po' più scientifico, si traduce nella frase: « A una certa altezza sopra il livello del mare le precipitazioni atmosferiche hanno sempre la forma di neve ». Durante l'inverno la neve discende più in basso e nell'estate si ritira in alto fino alla linea delle nevi perpetue; naturalmente più ci si avvicina al polo e più questa linea delle nevi perpetue è bassa; allo Spitzberg, per esempio, la linea delle nevi perpetue è a 460 metri sul livello del mare, nelle Alpi a circa 2800 metri e sul versante meridionale dell'Himalaya a 4980 metri sul livello del mare.

Naturalmente al di sopra di questa linea cade, ogni giorno, più neve di quanta se ne possa fondere; in modo che in alcune migliaia di anni essa si accumulerebbe in masse enormi se, man mano, non fosse trascinata via. Come? Ecco che entrano in gioco i ghiacciai.

Dalle cime più elevate la neve precipita giù a causa del suo peso, mentre dal canto suo anche il vento porta giù la neve asciutta e farinosa; tutta questa neve si raccoglie in una qualche grande conca dove, sotto l'azione del sole e dei venti caldi, si trasforma in nevischio granuloso il quale lentamente comincia a scendere a valle; dirò poi il perchè di questa discesa.

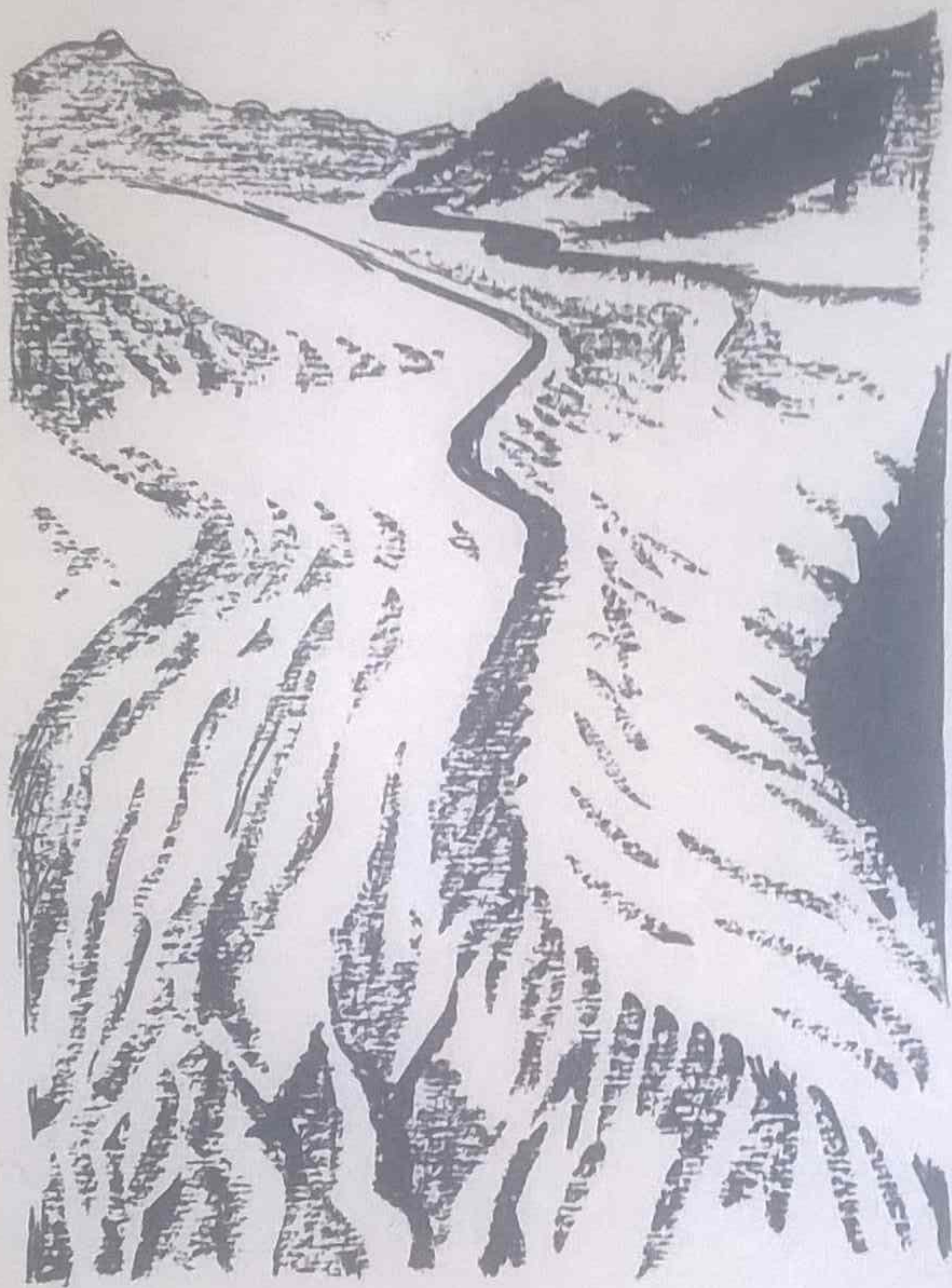
Durante la discesa avviene un nuovo cambiamento di struttura; ancora per l'azione continua e sempre più intensa del sole e dei venti caldi, il nevischio granuloso si trasforma in ghiaccio compatto. In principio sono trasformati in ghiaccio soltanto gli strati più profondi, ma, più a valle, la massa del ghiaccio compatto aumenta: siamo ora dinanzi a un ghiacciaio, a un bellissimo ghiacciaio, azzurro a causa delle innumerevoli fessure capillari dalle quali è attraversato.

In un ghiacciaio perfettamente sviluppato troviamo, dunque, nella parte più alta un grande bacino o *circo* occupato dal nevischio, dal quale prende origine il vero ghiacciaio; questo non è altro che il canale di scarico del circo.

Il ghiacciaio discende maestosamente per la valle, proprio come un fiume a lentissimo corso: si allarga dove la valle si allarga, si restringe dove la valle diventa stretta e là dove un fiume, a causa delle ineguaglianze del suolo, formerebbe cascatelle e cascate, esso presenta lacerazioni e crepacci.

Quale è la velocità di un ghiacciaio? Naturalmente non posso dare una risposta categorica a questa domanda, perchè questa velocità dipende da tante cose, tra l'altro dalla pendenza della valle. Racconterò due episodi che possono dare un'idea del valore di questa velocità. In un certo anno una guida lasciò cadere in un crepaccio del ghiacciaio Talèfre la valigia di un turista; tutte le furie del turista furono inutili: la valigia era perduta. E invece no, la valigia non era perduta: dopo dieci anni essa riapparve sulla fronte del ghiacciaio, il quale così restituiva onestamente ciò che involontariamente aveva inghiottito. Conoscendo lo spazio che la valigia aveva percorso in dieci anni, se ne dedusse la velocità del ghiacciaio, che risultò di essere di 131 metri all'anno; non è una velocità folle, ma insomma è abbastanza notevole.

Il secondo episodio è molto macabro ma scientificamente

...DINANZI A UN GHIACCIAIO...

anch'esso ha avuto la sua importanza. Il 20 agosto dell'anno 1820 un naturalista russo e due scienziati inglesi, con molte guide e molti portatori di strumenti, intrapresero l'ascensione del Monte Bianco. Quando non erano molto distanti dalla cima, tre persone furono travolte da una valanga. Dopo 41 anni, sulla fronte del ghiacciaio di Bosson, venne alla luce una parte degli abiti delle vittime, che furono riconosciuti da alcune guide ancora viventi e l'anno dopo si trovarono una mano e altri avanzi. Scusatemi un episodio così macabro.

C'è stato un periodo in cui un ghiacciaio alpino, il ghiacciaio di Vernagt nell'Oetzthal, ha corso follemente: 12 metri

in un giorno! Si poteva quasi vederlo muovere sotto i propri occhi; ma fu per esso una cosa assolutamente anormale.

Il record della velocità è battuto dai ghiacciai della Groenlandia il cui interno è tutto coperto da una potente massa di ghiaccio la quale da tutti i lati avanza verso la costa. E sulla costa montuosa, quando fra le alture si apre qualche angusta valle, le lingue del ghiacciaio si precipitano con forza irresistibile verso il mare, formando grandiose cascate, costituite di frantumi di ghiaccio che percorrono con velocità relativamente grande (20 metri al giorno) questa valle stretta e inclinata: i blocchi di ghiaccio si inseguono con grande fracasso e a centinaia e a migliaia scendono giù monti di ghiaccio di dimensioni gigantesche.

Dunque i ghiacciai nascono e camminano; e, come tutte le cose di questo mondo, essi devono anche morire. Lentamente, lentamente, il ghiacciaio discende fino al punto in cui tutto il ghiaccio formatosi nell'annata viene fuso dal calore; la fusione però non avviene soltanto all'estremità inferiore del ghiacciaio, ma ha luogo lungo tutta la sua lunghezza, in modo che la massa del ghiaccio giunge all'estremità inferiore molto ridotta.

Tutta l'acqua di fusione si raccoglie sul fondo del ghiacciaio e scorre su questo fondo formando un torrente, il quale sbocca fuori dall'estremità inferiore del ghiacciaio. Là dove viene fuori uno di questi torrenti ricco di una grande massa di acqua, si forma spesso una poderosa volta di ghiaccio, la *porta* del ghiacciaio; è veramente la porta di un castello magico: le sue lucide pareti e le pareti delle annesse grotte di ghiaccio mandano riflessi di luce azzurra e rossa; è questa una delle più famose meraviglie dei ghiacciai.

Possiamo proprio dire che il ghiacciaio finisce in bellezza.

Prima di osservare quale è l'azione distruttiva di un ghiacciaio, facciamo una parentesi e vediamo perchè un ghiacciaio cammina.

Il movimento di un ghiacciaio presenta esattamente, come già ho detto, tutte le proprietà che si osservano nella corrente di un fiume: esso accelera nei luoghi stretti e inclinati, rallenta nei luoghi larghi e piani; e, proprio come accade in un fiume, la parte centrale del ghiacciaio, il filone, ha una velocità mag-

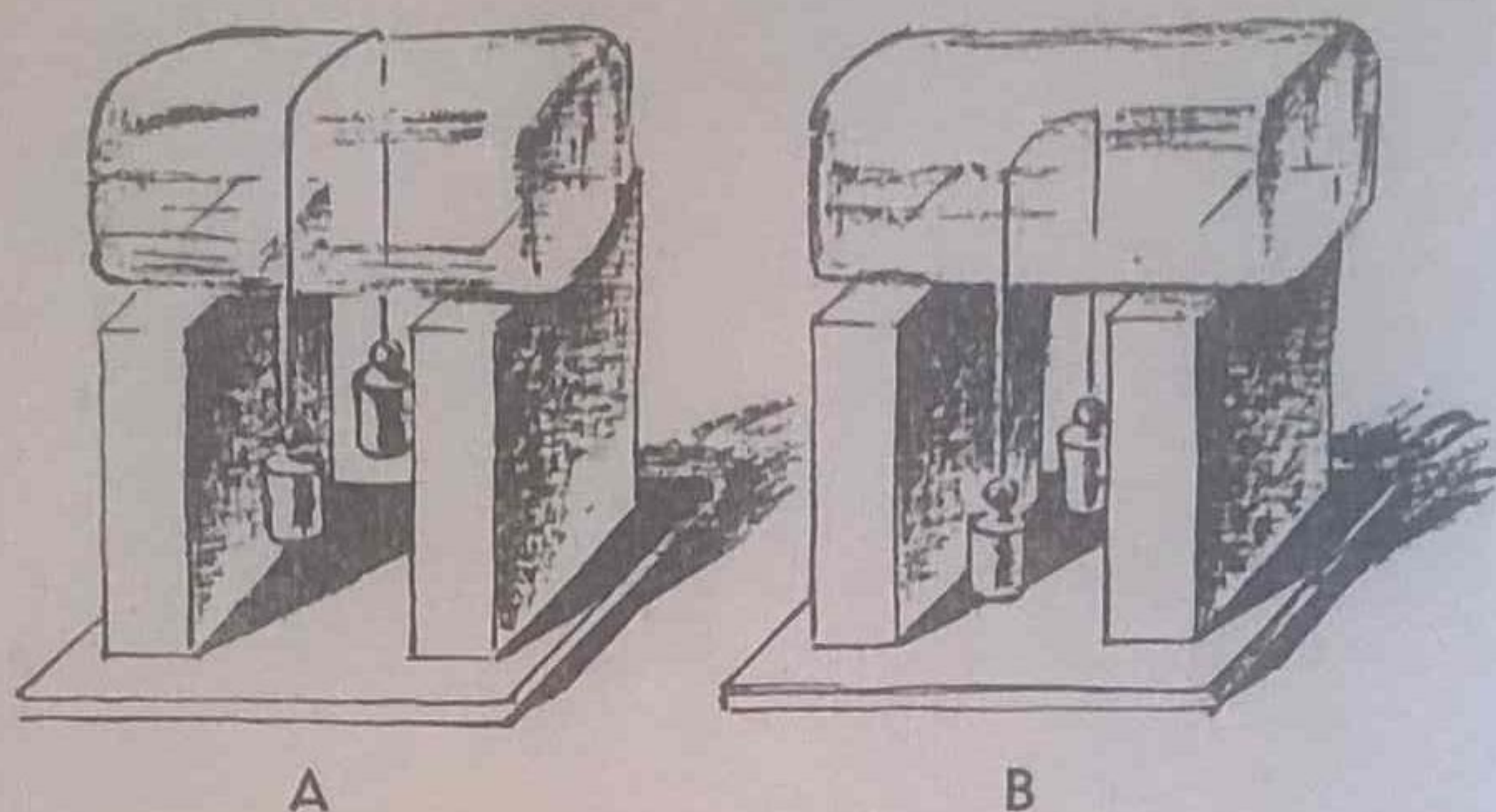
LA PORTA DI UN GHIACCIAIO

giore delle due parti laterali dove si fa sentire l'attrito dei margini. Il ghiacciaio perciò si comporta come una massa realmente scorrevole. Questo scorrimento è dovuto al fenomeno del *rigelo*. Ecco di che cosa si tratta.

Prendiamo un pezzo di ghiaccio e teniamolo alla temperatura di zero gradi: esso non fonde. Sottoponiamo ora questo stesso pezzo di ghiaccio a una pressione, sempre mantenendolo alla temperatura di zero gradi: ci accorgiamo che esso fonde; il che significa che il punto di congelamento dell'acqua (cioè la temperatura a cui essa congela) diminuisce quando la pressione aumenta.

Se si vuole controllare *de visu* questo fenomeno del rigelo, si può fare un'esperienza che sembra quasi un gioco di prestigio. Prendete un pezzo di ghiaccio un po' grande e appoggiatelo su due sostegni, così come è mostrato nella figura A (pag. 156): appoggiatevi poi sopra uno spago che abbia agli estremi due pesi; lasciate lì tutto e andate a spasso. Quando tornerete troverete che lo spago attraversa ora il pezzo di ghiaccio, come appare nella figura B: sopra e sotto ghiaccio. Che cosa è avvenuto? Lì dove lo spago è appoggiato sul ghiaccio, la pressione è maggiore: quindi in corrispondenza della linea di appoggio il ghiaccio fonde e lo spago affonda un pochino. Ma ora al di sopra dello spago la pressione torna normale, perciò l'acqua ghiaccia di nuovo mentre con-

temporaneamente lo straterello al di sotto dello spago fonde a causa della maggiore pressione. Così pian piano lo spago attraversa tutto il pezzo di ghiaccio il quale, dopo, è ancora intatto.

A B

La stessa cosa accade in un ghiacciaio dove, a causa della pendenza e della massa, la pressione varia da punto a punto; quando questa pressione è sufficientemente grande, il ghiaccio fonde: l'acqua così prodotta scorre verso il basso fin quando giunge in un punto in cui la pressione è di nuovo più piccola: allora congela di nuovo, mentre in altri punti nuovo ghiaccio fonde. Il ghiaccio perciò si trova in un continuo stato di fusione e di rigelo, il quale spiega il lento ma costante movimento di discesa del ghiacciaio.

Ed eccoci, finalmente, alla erosione provocata dai ghiacciai.

Come una corrente d'acqua, anche un ghiacciaio è un agente di distruzione e di trasporto di materiale; esso trascina una quantità di detriti molto vari, dai più grandi blocchi fino alla più fine argilla e li depone sul suo fronte. A questi mucchi di detriti si dà il nome di *morene*.

Dai fianchi della valle percorsa dal ghiacciaio cadono continuamente detriti, i quali restano sui due margini laterali del ghiacciaio e lo accompagnano in tutta la sua lunghezza, dal circo fino alla fronte: sono queste le *morene laterali*.

Vi è poi talvolta una *morena centrale*, la quale è una fila di detriti parallela alle morene laterali ma posta nel centro del ghiacciaio; qualche volta questa morena centrale è costituita da

una semplice fila di singoli blocchi, ma qualche volta costituisce un argine potente: per esempio il ghiacciaio dell'Aar è diviso in due da una grande morena mediana la quale ha un'altezza di 42 metri e una larghezza di 200 metri. Si potrebbe pensare che, con queste proporzioni, la quantità di detriti trasportati da questo ghiacchiaio nella sua morena centrale debba essere enorme. Invece non è vero; perchè se si va a guardare più attentamente, si vede che questo poderoso argine è quasi interamente costituito di ghiaccio e soltanto la sua superficie è ricoperta di ciottoli e detriti. E anche questo fatto si spiega facilmente; la superficie di un ghiacciaio fonde lentamente per azione dei raggi del Sole; ma se su questa superficie si trova un sasso, esso assorbe il calore e quella piccola porzione di ghiaccio che si trova al di sotto del sasso, non ricevendo il calore del Sole, non fonde. Così nelle morene centrali, il mantello continuo di ciottoli e ghiaia difende dai raggi solari il ghiaccio sottoposto, il quale quindi forma un argine che sporge dalla rimanente superficie del ghiacciaio, la quale invece è esposta alla azione dei raggi solari.

Da dove piovono i detriti che formano la morena centrale? Per rispondere a questa domanda basta risalire lungo una di queste morene da valle a monte. Dunque, ripercorriamo il ghiacciaio: a un certo punto ci accorgiamo che la morena centrale non si prolunga fino al circo ma finisce nel punto in cui due ghiacciai discendenti dall'alto si uniscono e finisce precisamente contro uno spigolo roccioso che separa le due correnti l'una dall'altra. Questo ci dimostra che la morena mediana nasce dall'unione delle morene laterali dei due ghiacciai confluenti. Il che si può riassumere dicendo che i detriti della morena centrale non piovono ma... sono piovuti.

Il fatto che la morena centrale si mantenga così netta senza che i detriti si disperdano sulla superficie del ghiacciaio, mostra nel modo più evidente la straordinaria indipendenza che le due correnti di ghiaccio conservano dopo la loro riunione e quanto poco si mescolino; esse, in contatto l'una dell'altra, percorrono per anni la stessa via senza mescolare il proprio ghiaccio.

Ma verso la parte inferiore la morena mediana si dissolve, i detriti si sparpagliano, si mescolano con quelli delle morene laterali e vengono finalmente deposti di fronte al termine del

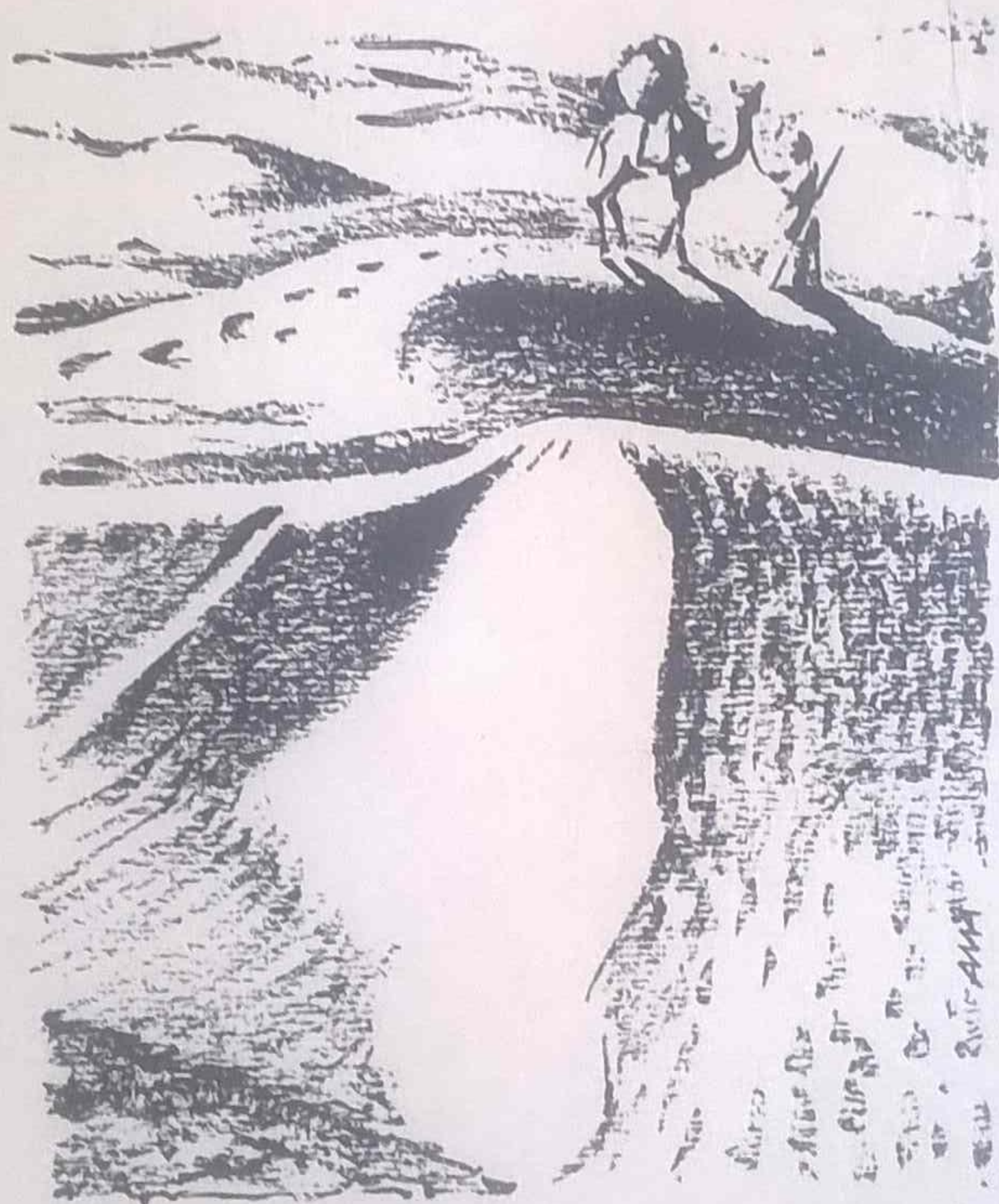
ghiacciaio in un alto argine che è la *morena frontale*; essa può raggiungere anche i 100 metri di altezza e forma un ampio arco convesso il quale ha nel mezzo un'apertura per il passaggio del torrente del ghiacciaio.

Oltre a questo trasporto di detriti, il ghiacciaio ha anche una azione erosiva sul fondo della valle; tra questo fondo e il ghiacciaio esiste uno strato di ciottoli e di fango che viene trascinato dal movimento del ghiacciaio corrodendo le rocce del fondo; queste rocce sono perciò levigate e coperte di strie che, in generale, sono parallele all'asse del ghiacciaio. Quando perciò in una valle si trovano rocce così malconce (cioè levigate e coperte di strie) se ne può concludere che in tempi più o meno lontani quella valle è stata percorsa da un ghiacciaio.

Per finirla...

Ma l'azione demolitrice dell'acqua è doppia; all'azione puramente meccanica bisogna aggiungere la sua azione chimica; poichè essa scioglie facilmente alcuni minerali componenti le rocce e li trascina con sè; per esempio nei luoghi in cui grandi masse di salgemma o di gesso sono esposte all'azione dell'acqua, avviene un importante trasporto di queste sostanze; si formano perciò grandi caverne sotterranee e le rocce sovrastanti sprofondano.

E per finirla con il fenomeno dell'erosione dovrei parlare della distruzione delle rocce dovuta ai frequenti mutamenti della temperatura e anche alle radici delle piante che, crescendo, allargano fenditure riuscendo talvolta a spostare anche enormi blocchi rocciosi; dovrei dire dell'azione distruttiva del mare, che con le sue onde batte i litorali, strappa blocchi di rocce, li sminuzza, li trascina; e dovrei dire dell'azione del vento il quale, se non può disfare materiali molto voluminosi o molto compatti, trasporta la sabbia e l'accumula nelle *dune*. Nel deserto del Sahara queste dune giungono qualche volta all'altezza di 200 metri e formano catene lunghe da 70 a 80 chilometri, le quali, sotto l'azione del vento, camminano lentamente. Di solito però le

...NEL DESERTO DEL SAHARA
QUESTE DUNE...

dune hanno un'altezza compresa tra i 20 e i 30 metri e avanzano a velocità di 5-6 metri all'anno, seppellendo boschi, villaggi e campi i quali restano sepolti per qualche decennio; poi la duna passa oltre, lasciando dietro di sè rovine e macerie.

Dovrei dire tutte queste cose; e invece dico « de hoc satis »; il che, in italiano, significa: « facciamola finita ».

TAVOLA VIII

Cristalli di ghiaccio (*Albert Steiner, St. Moritz*).

La sedimentazione

« Strato », parola principe

E tutti i detriti continuano lentamente il loro viaggio. I torrenti, i fiumi depositano qua e là, durante il loro corso, ghiaia e fango; i ghiacciai depositano al loro termine le morene frontali. Ma nuova acqua, nuova pioggia, nuovi torrenti trascineranno ancora più in basso questa sabbia, questo fango e questa ghiaia; e ciò che questi nuovi torrenti abbandoneranno nel loro corso verrà poi ripreso da altra acqua.

E lentamente tutto ciò viene trascinato verso il mare, termine ultimo del viaggio. E lì i detriti si depositano, strato su strato, su un'area di milioni di chilometri quadrati.

Devo confessare che quelle tre parole « strato su strato », che sembrano scritte a caso, sono invece frutto di una deliberata premeditazione; in geologia la parola « strato », che voi forse avrete adoperato una ventina di volte in tutta la vostra vita, assurge ai fastigi di parola principe.

Se in una gita in montagna si guardano attentamente le rocce che ci circondano, ci si accorge che molto spesso queste rocce presentano fenditure parallele che ne dividono la massa in estesi... strati (vedete bene che comincio anch'io a parlare come i geologi). In molti casi questo fenomeno è evidentissimo; qualche volta, invece, esso resta nascosto da un fitto manto di vegetazione. Ebbene, tutte le volte che vediamo una roccia stratificata, possiamo affermare con sicurezza: quella roccia si è formata nell'acqua.

Vediamo, per esempio, che cosa accade in un lago in cui sbocchi un fiume o un torrente. La corrente trasporta i detriti delle rocce su cui passa e li deposita sul fondo del lago; durante l'estate, quando il tempo è asciutto, il fiume è in magra e quindi avrà la forza di trascinare soltanto fango sottile che si depositerà sul fondo del bacino. Ma se per forti piogge il fiume si gonfia, la corrente, divenuta più forte, potrà trasportare anche sabbia. E allora sul fondo del bacino, su quel primo strato argilloso, si forma uno strato sabbioso al quale, se il tempo torna asciutto, succederà un secondo strato argilloso. Nella primavera, all'epoca della fusione delle nevi, il fiume, ricchissimo di acqua, trasporta grandi masse di sabbia e anche di ciottoli, che si depositano anche essi in un nuovo strato. In tal modo si forma un sistema di strati di materiale vario.

E ciò avviene in tutti i laghi; ma il campo principale di questo fenomeno di sedimentazione è il mare, nel quale esso si estende su una superficie enorme. È questa l'origine di tutte le rocce stratificate.

Poichè il fondo dei mari e dei grandi laghi è press'a poco orizzontale, così avviene che la posizione primitiva degli strati è quasi sempre orizzontale ed è inclinata soltanto in circostanze particolari: per esempio, se un torrente porta ciottoli o sabbia grossolana in un lago con rive ripide oppure sbocca da un'alta valle laterale in un'ampia valle principale o se, per qualsiasi altra ragione, abbandona sopra un terreno inclinato il materiale che trasporta, allora anche gli strati saranno inclinati; però i casi di questo genere sono eccezionali.

Poi i laghi si prosciugano, il mare si ritira da una zona ed ecco apparire alla luce queste rocce stratificate: e saranno a strati orizzontali se mantengono la loro posizione originaria,

... A STRATI
PIU' O MENO INCLINATI...

saranno invece a strati più o meno inclinati e piegati se hanno subìto l'azione delle forze generatrici delle montagne.

Una pioggia incessante

Il fondo di tutte le acque è perciò sempre sotto l'azione di una pioggia lenta e incessante: ciottoli, sabbia, fango, ceneri eruttati dai vulcani... Ma ancora qualche altra cosa piove giù, si deposita e si trasforma: le umili pianticelle delle paludi, le piante rigogliose delle foreste e delle paludi, il legname e le piante acquatiche cadute sul fondo, si trasformano in carboni minerali; e poi ancora: i gusci calcarei di innumerevoli animali si accumulano in masse gigantesche e i gusci silicei di molti organismi inferiori coprono, in alcuni punti, il fondo dell'oceano.

Così i gusci e gli scheletri di moltissimi animali e di alcune piante si ammucchiano sul fondo del mare e nel corso di lunghi periodi di tempo possono formare masse enormi. La scoscesa muraglia rocciosa che forma il ripido fianco delle Alpi di

Svevia e di Franconia, i monti calcarei delle Alpi meridionali e settentrionali (massa rocciosa dello spessore di diverse migliaia di metri), i calcari più volte ripiegati che compongono i territori deserti del Carso, tutti devono la loro formazione alla morte di bilioni e trilioni di organismi che vissero nei tempi passati.

Animaletti quasi microscopici provvisti di delicato guscio nuotano nell'acqua del mare; dopo la morte, i loro involucri cadono sul fondo; devono passare anni e anni prima che si possa formare uno strato di un solo millimetro; ma nel corso di lunghi periodi questo processo dà origine a sedimenti di enorme spessore. L'incessante accumularsi di azioni piccole e innumerevoli dà luogo a un risultato meraviglioso. Può essere questa una bella lezione di perseveranza: e Dio sa se ne abbiamo tutti bisogno.

Tutto ciò si deposita sul fondo del mare, naturalmente con aspetto diverso a seconda della profondità, della vicinanza o meno della costa, della fauna e della flora che popola le diverse regioni marine. E tutti questi detriti si depositano in strati orizzontali e paralleli, in ordine cronologico: cioè gli strati più antichi giacciono sul fondo e gli strati più recenti al di sopra.

I sedimenti però non restano là, strato su strato, così come si sono formati. Come sappiamo, essi subiscono ben presto profonde modificazioni che li trasformano in rocce stratificate; e queste possono poi trasformarsi in rocce metamorfiche. Queste rocce saranno poi soggette a deformazioni e movimenti complessi per cui dalla posizione originaria si sposteranno fino alla emersione e alla posizione in cui ora noi le vediamo.

Sic transit gloria mundi

Si è placato ora il dolore che abbiamo provato quando abbiamo saputo che quella cara collina si appiattirà e quella silenziosa valletta si colmerà. L'immobilità è morte e il continuo

movimento è vita: altre colline e altre vallette si formeranno e poi saranno appiattite e saranno colmate.

Poichè conosciamo ora la potenza dell'erosione e sappiamo che quando guardiamo una catena di montagne, per esempio quando guardiamo le Alpi, siamo dinanzi a qualche cosa che va continuamente distruggendosi. Ghiacciai e torrenti trasportano ciottoli e fango, correnti di ghiaia dai monti scendono nelle valli, enormi masse rocciose si staccano e precipitano con immenso fracasso...; è questa l'azione potente delle forze distruttive.

Vulcani

L'erosione ha come effetto definitivo il livellamento del paesaggio; ma esistono altre forze potenti che sollevano nuovi monti e nuove catene. Se alcune di queste forze agiscono così lentamente da non aver avuto alcun effetto osservabile nel breve volgere della vita delle generazioni umane (e vedremo poi quali siano queste forze), altri fenomeni ci mostrano che sotto la crosta terrestre ferve una incessante attività: mi riferisco alle manifestazioni vulcaniche.

I vulcani hanno sempre manifestazioni molto violente. Essi eruttano masse enormi di ceneri che, trasportate dai venti, giungono a distanze grandissime oscurando il Sole; eruttano massi, lapilli e colate di lava; nel caso delle eruzioni lineari (cioè se effuse da fenditure della crosta terrestre) queste colate possono essere talora immense e in sovrapposizione orizzontale anche molte volte ripetuta; ecco allora un tavolato lavico quale quello che nel Deccan (India) ricopre una superficie di oltre 300.000 chilo-

metri quadrati ed ha un volume di circa 1.000.000 di chilometri cubici; se ne trovano poi in Siberia, nella Patagonia, in Groenlandia, ecc.

Un vulcano può nascere improvvisamente, come quel monte vulcanico il quale, nato in un paio di giorni ai Campi Flegrei (Napoli) alla fine del 1538, ebbe l'appropriatissimo nome di Monte Nuovo; e può distruggersi per violenta esplosione, come accadde al vulcano Krakatoa (nell'isola omonima dello stretto della Sonda) che il 27 agosto del 1883 saltò letteralmente in aria con tutta l'isola per una spaventevole esplosione; per quanto l'isola per fortuna fosse disabitata, ben 40.000 abitanti delle isole vicine perirono in questa terribile esplosione il cui orrendo rombo si propagò fino alla distanza di 3400 chilometri; il che vuol dire che se l'esplosione fosse avvenuta, per esempio, a Vienna, il suo rombo si sarebbe udito fino alle foci dell'Eufrate nel Golfo Persico, in tutta l'Europa fino alla Groenlandia orientale e in tutta la catena degli Urali. Una catastrofe spaventosa!

Le masse fuse, eruttate dai vulcani in modo così violento, passando poi allo stato solido, subiscono fenomeni di contrazione per effetto dei quali risultano fessurate in vario modo. Ecco allora quelle rocce eruttive che già conosciamo e che costituiscono la maggior parte della crosta solida di questa tormentatissima Terra; ai fenomeni che accompagnano il formarsi di queste rocce è legata l'origine della maggior parte dei minerali utili all'uomo.

Terremoti

Niente affatto inferiori, in quanto a violenza, ai fenomeni di vulcanismo sono i terremoti. In generale non mi piace rattristare il mio prossimo con storie terrificanti; ma sono costretto a ricordare il terremoto poichè anche esso è uno di quei processi che trasformano incessantemente la superficie terrestre; e se l'uomo ne resta terrorizzato perchè al momento di un terremoto sente crollare di colpo l'innata credenza nella quiete e nella immobilità del suolo che calpesta, il geologo deve osservare e studiare freddamente anche questo fenomeno della natura.

I terremoti sono enormemente più frequenti e più diffusi di quanto non si creda; si può dire che non passa giorno nè ora senza qualche terremoto. Ma anche se si ricordano grandi catastrofi, come il terremoto del 536 che nella Siria e nell'Asia Minore fece 120.000 vittime o quello di Lisbona del 1755 che, dopo la Rivoluzione francese, fu l'evento più impressionante del XVIII secolo, o il terremoto che distrusse Sodoma e Gomorra,

moltissimi terremoti sono, per fortuna, così leggeri da passare inosservati a tutti tranne che al geofisico.

In seguito a violenti terremoti si possono produrre grandi cambiamenti della superficie terrestre: nel 1869, per esempio, si produsse in California una faglia lunga 966 km, la faglia di Sant'Andrea, la quale fu ripresa nel 1906 da un altro terremoto che spostò un blocco di 74.000 chilometri quadrati.

Ma ho detto che non mi piace raccontare storie tristi; quindi basta. Voglio soltanto aggiungere una cosa: le catene montuose e i loro dintorni costituiscono la patria principale dei terremoti; questa intima connessione ci dice che l'assestamento nelle vicinanze delle catene montuose è ancora lungi dall'essere compiuto.

Ma per quanto i vulcani e i terremoti facciano del loro meglio per sconvolgere di nuovo il terreno livellato dall'erosione, per quanto per loro merito si creino nuove valli e nuovi monti, essi non bastano assolutamente per rendere conto della presenza delle catene montuose,

Quale è, allora, l'origine delle montagne? È questa la domanda alla quale risponderò (o meglio *non* risponderò) nel capitolo quarto di questo Libro II. Prima però voglio assistere con voi a un lungo spettacolo: vedremo quali esseri viventi si sono succeduti sulla Terra durante questi milioni e milioni di anni, mentre le catene montuose si formavano e venivano distrutte in un ciclo perenne, mentre i vulcani eruttavano e mentre i ghiacciai avanzavano e si ritiravano.

LA STORIA DELLA TERRA

I fossili

E durante questo lungo spettacolo assisteremo alle vicende che si sono svolte su questo nostro pianeta nel lungo periodo geologico: nel periodo, cioè, che si iniziò con la formazione di questa sottile e tanto tormentata crosta terrestre e che dura tuttora.

Leggendo il capitolo precedente, avrete forse pensato che mi sono attardato un po' troppo sulla formazione delle rocce sedimentarie; ma c'era una ragione. È infatti appunto nelle rocce stratificate che il geologo trova i documenti che gli sono necessari per scrivere la biografia della Terra.

Se si esamina con attenzione una roccia stratificata, si trova molto spesso una quantità maggiore o minore di avanzi di animali o di piante che vissero nel tempo in cui si formavano i sedimenti e che vi rimasero sepolti: questi avanzi sono i *fossili*.

Queste « pietrificazioni » (come i fossili sono stati spesso chiamati) hanno in ogni tempo eccitato la fantasia degli uomini;

e prima di giungere all'idea che essi fossero avanzi di animali e di piante un giorno viventi, sono state emesse, per spiegare la loro origine, le teorie più sballate. Aristotele accenna vagamente che i pesci pietrificati che erano stati trovati in Eraclea nell'Asia Minore potrebbero essersi formati nel medesimo luogo da seme lasciato da pesci marini. Ora l'autorità di Aristotele era (ed a ragione) enorme: ragion per cui quel suo concetto sulla origine delle pietrificazioni ebbe una fortissima influenza sulle idee del Medio Evo e del principio dell'età moderna e diede origine ad errori quasi invincibili che durarono più di duemila anni. Ed ecco poi, nei secoli XII e XIII, altre due opinioni altrettanto bizzarre: le pietrificazioni erano considerate o giuochi di natura o, nientedimeno, che i primi tentativi del Creatore il quale aveva provato la sua abilità con queste formazioni minerali prima di accingersi a creare veri esseri viventi. Non è certamente la fantasia che difetta negli uomini!

Altri attribuirono le pietrificazioni non alla natura nè al Creatore, ma agli astri; altri pensarono che dal mare soffiasse un'aria seminale che producesse nelle rocce le « pietre figurate »; altri infine (e furono numerosissimi) riconoscevano bensì nelle pietrificazioni i resti di animali e di piante, ma affermavano che erano quegli animali e quelle piante che erano stati distrutti dal diluvio universale! Anzi un noto naturalista scrisse anche un'opera, intitolata *Piscium querelae and vindiciae,* nella quale ci fa assistere ai lamenti che i pesci fossili, guidati da un grosso luccio delle cave di pietra di Oeniger, fanno in una orazione latina, per la crudele ingiustizia di cui sono vittime: prima sono periti miseramente nel diluvio senza alcuna colpa da parte loro e ora non si vuole nemmeno riconoscerli per quel che sono ma vengono dichiarati, nientedimenó, che produzioni minerali!

E così, di teoria in teoria, giungiamo a Leonardo da Vinci (1452-1519). Ancora giovane, nel dirigere la costruzione di alcuni canali, egli trovò ricchi depositi di conchiglie fossili; dedusse da ciò che una volta il mare giungeva a un livello più alto dell'attuale e che in quel mare erano vissute quelle conchiglie; anzi, dalla presenza di ciottoli arrotondati, trasse la con-

clusione che in quel tempo esisteva nelle vicinanze la foce di un fiume, il quale aveva trasportato quei ciottoli.

E dopo Leonardo da Vinci questa idea sulla reale origine dei fossili cominciò lentamente a guadagnare terreno; ma si può dire che soltanto da un secolo e mezzo l'uomo abbia cominciato seriamente a decifrare queste fino allora disprezzate pagine della storia del mondo. Lunga e faticosa è la strada della verità.

Dunque si chiama *fossile* ogni avanzo di essere organizzato, conservato negli strati della crosta terrestre e vissuto in epoca anteriore alla nostra. Questi avanzi, però, possono essere di diversi tipi: possiamo trovare avanzi ben conservati, come conchiglie o parti di scheletri, le quali hanno resistito alle azioni distruttrici; possiamo trovare avanzi pietrificati, nei quali cioè la materia organica che è andata distrutta è stata sostituita da materia inorganica senza che perciò si sia modificata la forma primitiva; possiamo infine trovare le tracce o le impronte più o meno fuggitive che gli esseri hanno lasciato della loro esistenza o del loro passaggio, senza che si sia conservata la minima particella della loro sostanza: impronte di passi di sauriani, di testuggini, di uccelli, solchi lasciati da molluschi striscianti o da pesci, perforazioni, che qualche volta crivellano in tutti i sensi una roccia, dovute all'azione di animali perforanti.

Non tutte le rocce sedimentarie però contengono avanzi fossili; perchè se esse sono state soggette a fenomeni di metamorfismo, questi possono essere stati così intensi da aver distrutto ogni resto di origine organica che era in esse contenuto.

Il libro più malconcio del mondo e la sua lettura

Evidentemente l'età di un fossile e l'età dello strato che lo contiene sono le stesse. Abbiamo così un mezzo per determinare la successione dei viventi sulla Terra e per passar dalla semplice descrizione dei fossili alla storia dello sviluppo degli organismi terrestri.

Ecco quindi a nostra disposizione il più interessante libro della storia del mondo: leggiamolo attentamente, pagina dopo pagina, cioè, scusate, strato dopo strato.

Non crediate però che questa lettura sia tanto facile; il libro della natura è piuttosto malconcio: gli strati si sono bensì depositati per benino gli uni sugli altri, orizzontalmente; ma poi, come sappiamo, ogni tanto sono stati modificati e sconvolti da forze estranee, come per esempio le forze vulcaniche, le forze che hanno generato le montagne, i terremoti, gli sprofondamenti...; ed ecco questi poveri strati modificati, sollevati, contorti, piegati, spostati, spezzati, invertiti. E così questo povero libro è ridotto malconcio, come un libro di una libreria che sia stata successivamente soggetta a bombardamento, a una occupazione militare, a un terremoto e, tanto per completare l'opera, anche a un incendio.

Quindi i geologi sono destinati a una lettura enormemente difficile. Essi, però, per leggere questo libro hanno i loro metodi i quali, naturalmente, sono andati raffinandosi con l'esperienza e con gli anni. Non mi soffermerò su questi metodi; dirò soltanto che lo studio dei fossili, opportunamente collegato con lo studio della natura dei sedimenti, ha permesso di determinare la loro *successione cronologica*; ha permesso, cioè, di dire: questo strato si è formato prima di quello, l'animale, o la pianta, che ci ha lasciato questo fossile ha vissuto prima di quell'altro che ci ha lasciato quel fossile.

E non è poco. Ma se è interessante sapere che questo animale è vissuto prima di quell'altro, non è meno interessante sapere *quando* essi sono vissuti, sapere cioè quale è l'età assoluta delle rocce che contengono i loro fossili. E qui i geologi hanno ricevuto un validissimo aiuto dai fisici perchè il metodo oggi usato del rapporto radioattivo uranio-piombo (del quale dirò subito due parole) non soltanto si è mostrato enormemente più attendibile di tutti gli altri procedimenti precedenti, ma ha permesso anche di stabilire l'età di rocce della più alta antichità.

Esiste in natura un elemento, l'uranio, il quale è radioattivo, il quale, cioè, ha la proprietà di disintegrarsi spontaneamente, trasformandosi in piombo; più precisamente un atomo di uranio, perdendo successivamente nel tempo atomi di elio, si tra-

TAVOLA IX

Due aspetti diversi della natura. Sopra: il deserto con le sue dune (*Delius, Parigi*). Sotto: le maestose cascate Vittoria (Africa Orientale Inglese).

sforma in un atomo di un certo tipo di piombo. Questo processo è molto lento e (ed è questa la cosa essenziale) si svolge con un noto ritmo costante; quindi se in una roccia troviamo una certa quantità di quel piombo insieme a uranio, possiamo calcolare il numero di anni che sono stati necessari perchè questo piombo si sia formato dall'uranio originale; sarà questa l'età della roccia. La natura quindi ci ha fornito, per la determinazione dell'età assoluta delle rocce, un fenomeno che avviene con la regolarità del battito di un orologio.

La roccia che, con questa misura, è risultata, finora, la più antica, è una roccia del Manitoba (Canadà) la quale ha dichiarato di essersi formata 1 miliardo e 985 milioni di anni fa.

Questo metodo però non può essere utilizzato per rocce che si sono formate meno di 400 mila anni fa: esse sono assolutamente troppo giovani. Per determinare l'età di queste giovanissime rocce, si usano altri procedimenti fondati su elementi del tutto diversi.

Così mentre lo studio dei fossili permette di determinare la successione cronologica degli strati, il metodo radioattivo uranio-piombo ne determina l'età assoluta. Ecco come i geologi sono riusciti faticosamente a ricostruire la storia della Terra.

Un'ora = trecento milioni di anni

Questo malconcio libro è diviso in cinque parti, che si chiamano *ère*, delle quali la prima è molto più lunga delle altre.

Questa divisione è stata fatta, naturalmente, dai geologi; ma, in realtà, essa è molto meno arbitraria e convenzionale di quanto si possa pensare; perchè per quanto ciò che si è svolto su questa Terra costituisca una serie ininterrotta di avvenimenti, pure questi avvenimenti sono raggruppabili in un modo che corrisponde appunto alla divisione adottata dai geologi; e ogni gruppo è caratterizzato (come vedremo) da una parte dal ripe-

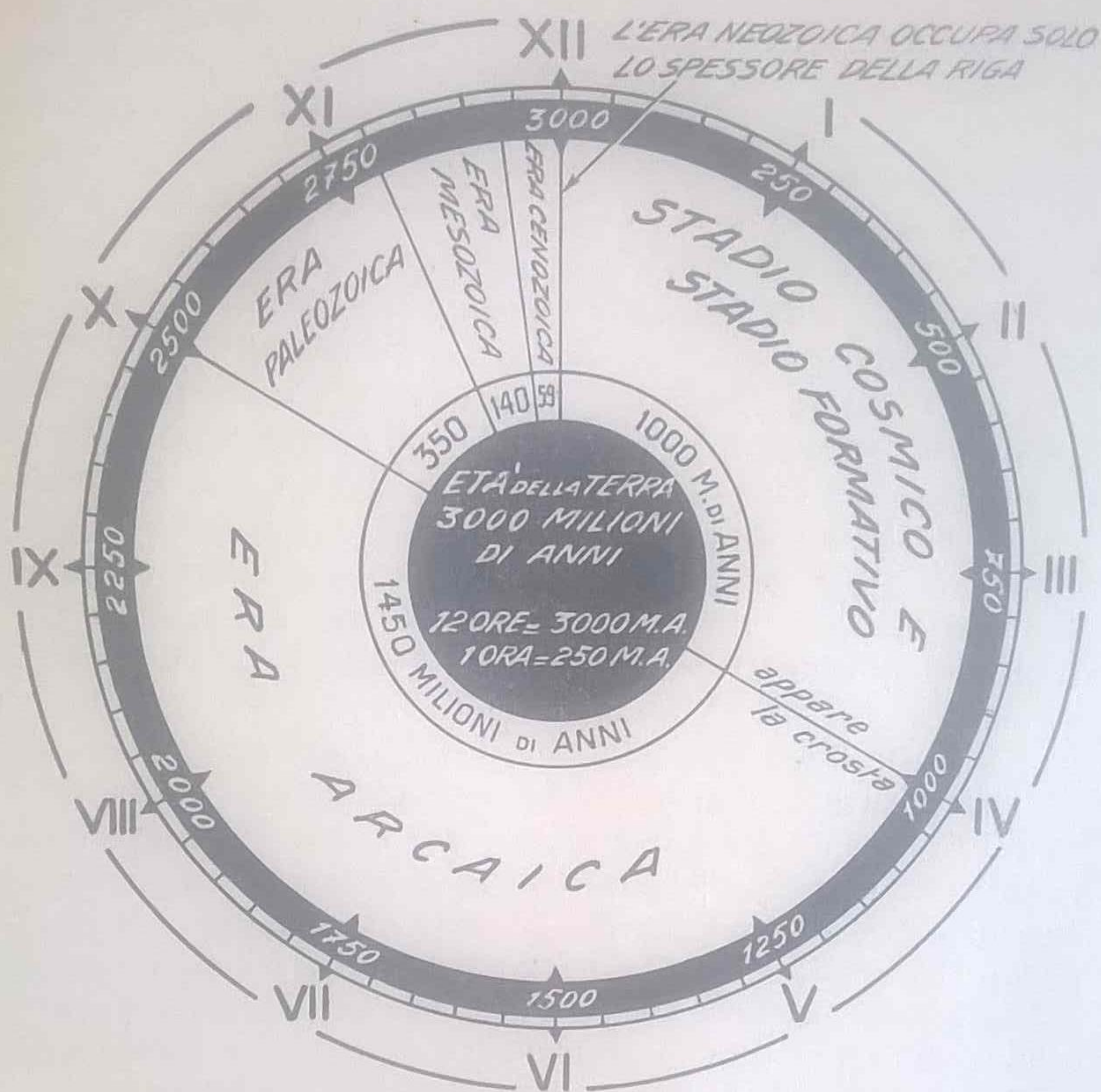
tersi ciclico di alcuni fenomeni geologici generali (come la formazione di catene montuose) e dall'altra da sue particolari condizioni di ambiente e di vita. È una cosa analoga a ciò che accade nella storia: per quanto gli avvenimenti storici costituiscano una serie ininterrotta, le divisioni fatte dagli storici (Medio Evo, Risorgimento, ecc.) corrispondono a reali e naturali aggruppamenti. Parlerò nel prossimo capitolo di quel grandioso fenomeno periodico che porta alla formazione delle catene di montagne; vedremo invece in questo capitolo le condizioni di ambiente e di vita delle varie ère.

Dunque tutta la storia della Terra, dopo la solidificazione della crosta, si può dividere in cinque ère, le quali hanno, naturalmente, i loro nomi. Questi nomi sembreranno strani, brutti e difficili; ma non appena ne avrò detto l'etimologia, sembreranno i più naturali del mondo.

La prima èra, cioè la più antica, si chiama appunto èra *arcaica*, il che vuol dire « antica » (ἀρχαικός = antico): essa abbraccia un periodo di tempo che è più lungo dell'insieme delle ère successive. La seconda è chiamata èra *paleozoica*, cioè « vita antica » (da παλαιός = antico e ξωή = vita); la terza, èra *mesozoica*, cioè « vita di mezzo » (da μέσος = medio e ξωή); la quarta, èra *cenozoica*, cioè « vita recente » (da καινός = recente, e ξωή); infine l'ultima, èra *neozoica*, cioè « vita nuova » (da νέος = nuovo e ξωή). Non mi sembra molto difficile.

Quanto sono lunghe queste ère? Risponderò a questa domanda con una figura, imitando, con qualche modifica, il metodo molto brillante seguito dal dr. Chester Reeds in un suo bel libro sulla Terra.

Dunque, immaginiamo di voler rappresentare tutta la storia della Terra dal momento in cui essa si staccò dal Sole fino a oggi, sul quadrante di un orologio. L'intero quadrante rappresenterà la durata di 3000 milioni di anni e ogni ora rappresenterà 250 milioni di anni.

Facciamo un balzo indietro molto poderoso e riportiamoci a 3000 milioni di anni fa, all'istante, cioè, in cui la Terra si staccò dal Sole. Ecco questo globo gassoso che ruota ormai solo nello spazio, raffreddandosi pian piano fino a che si forma la

L'ETÀ DELLA TERRA
SUL QUADRANTE DI UN OROLOGIO

prima crosta; ma ciò che io ora ho detto in una breve frase ha richiesto, per la sua attuazione, la bellezza di 1000 milioni di anni: il nostro orologio segna già le 4.

Comincia l'*èra arcaica*. Il tempo e gli eventi incalzano; la pioggia precipita, i vulcani eruttano, le rocce si formano; l'acqua si raccoglie in mari, i fiumi trasportano sedimenti, sul fondo del mare vanno depositandosi strati su strati. E questo per secoli e secoli e secoli; la Terra è ancora disabitata. E ancora il tempo e gli eventi incalzano. Appare la vita (come? dove?). I vulcani continuano ad eruttare, i fiumi trasportano

ancora sedimenti, i primi strati sono rotti e sconvolti; si forma una catena montuosa e altri strati si depositano. Appaiono nuove varietà di vita: sono ora le 10 e la Terra è vecchia di 2500 milioni di anni. È finita l'èra arcaica.

E il tempo, gli eventi e la vita incalzano. Siamo nell'*èra paleozoica*. Crostacei (tra cui predominano i rappresentanti di un ordine estinto da tempo, le trilobiti), spugne silicee, corallari; poi compaiono i primi pesci. Ed ecco apparire poi per la prima volta gli abitatori delle terre; qualche pianta terrestre e alcuni insetti; ma poco per volta questa vita continentale si arricchisce: felci arboree... e infine le conifere; scorpioni e ragni. Appaiono i primi anfibi e i primi sicuri rappresentanti dei rettili. Questi animali assistono inconsci ai movimenti della crosta terrestre; perchè si formano altre montagne. La Terra è già vecchia di 2800 milioni di anni: sono le 11 e 12 minuti ed è finita l'èra paleozoica.

Siamo nell'*èra mesozoica*. Si estendono ora sulla Terra due grandi continenti (uno dell'emisfero nord e l'altro dell'emisfero sud, divisi da un lunghissimo mare equatoriale). Predominano i rettili, spesso di dimensioni mostruose e la vegetazione è estremamente abbondante (pini, sequoia, araucaria e poi cipressi); ed ecco i mammiferi, rappresentati da diversi generi di marsupiali. E ancora il mare avanza e si ritira. L'èra mesozoica è finita: il nostro orologio segna le 11,43 minuti e 12 secondi: la Terra conta 2930 milioni di anni.

Eccoci nell'*èra cenozoica*. Cessa la supremazia dei rettili: ora predominano i mammiferi. E passano ancora 59 milioni di anni; è finita l'èra cenozoica.

Sono ora le 11,59 minuti, 45 secondi e mezzo; mancano soltanto 14 secondi e mezzo perchè la sfera del nostro orologio giunga alle 12, perchè, cioè, si giunga a oggi. È questa la durata dell'*èra neozoica*, un milione di anni; essa è così breve che non può essere segnata sul nostro orologio; è rappresentata, sì e no, dalla grossezza della riga che passa sulle 12. Ecco una nuova creatura: l'uomo. Quattro volte enormi calotte di ghiaccio coprono le terre e poi si sciolgono. E nell'ultimo decimo di secondo assistiamo ai progressi dell'uomo, che comincia a studiare se stesso, la terra e l'universo; esso solca i mari e i continenti: e

nell'ultimo mezzo millesimo di secondo lo vediamo viaggiare nell'atmosfera che circonda il nostro globo.

Scoccano le dodici e... lo spettacolo è finito.

Che cosa è la vita

Quando avete letto la frase « appare la vita (come? dove?) », non avete certamente pensato che in quel momento io toccavo uno dei problemi più oscuri e più discussi di tutta la scienza: l'origine della vita.

Veramente potrei cavarmela con quelle quattro parole e sorvolare; ma penso che non sarebbe onesto; dato che il mio scopo non è soltanto di raccontare i risultati sicuri delle ricerche e degli studi degli scienziati, ma anche di mostrare quali sono i problemi che ancora aspettano una soluzione. Naturalmente può essere che qualcuno di questi problemi continui a restare sempre senza soluzione a causa della insufficienza dei dati che sono a nostra disposizione: ma io intanto vi darò qualcuna delle soluzioni proposte per sciogliere questi enigmi.

Prima però di cominciare a parlare di qualsiasi cosa, bisogna ben sapere di che cosa si parla, altrimenti... conoscete tutti la storia della torre di Babele, non è vero?

Dunque, prima di parlare dell'origine della vita, vi chiedo: che cosa è la vita? Che cosa è questa nuova cosa che è apparsa al principio dell'èra paleozoica e che, forse, è confinata soltanto su questo nostro pianeta, tanto importante per noi ma tanto trascurabile in tutta l'immensità dello spazio?

Le cose viventi differiscono enormemente l'una dall'altra; credo che molte persone troveranno ben poco in comune tra un animale e una pianta o — che so io? — tra un corallo e un leone. Eppure tutte le cose viventi hanno alcune caratteristiche comuni che mancano nelle cose non viventi: ecco quali.

Ogni cosa vivente ha un certo *potere di accrescimento*, ogni cosa vivente *prende cibo*, ogni cosa vivente, mangiando e crescendo, *si muove* (per quanto questo movimento possa non

essere altro che l'espandersi delle radici sotto terra o dei rami nell'aria); ogni cosa vivente *si riproduce*, essa, cioè, a un certo punto della sua vita produce altre cose viventi simili a sè; infine l'accrescimento e la vita di ogni cosa vivente hanno un limite: a un certo punto essa cessa di crescere, a un certo punto *cessa di vivere*.

Accrescimento, riproduzione, morte...; queste sono le caratteristiche della vita.

L'origine della vita

Ed ora che sappiamo di che cosa si tratta, possiamo chiederci: quale è l'origine della vita?

Devo dire subito che non si sa come la vita sia apparsa sulla Terra. Naturalmente sono state fatte delle ipotesi, ma ancora oggi si tratta sempre soltanto di ipotesi.

Sembra ormai sicuro che la vita abbia avuto inizio nell'acqua calda dei primi mari; probabilmente durante il processo di raffreddamento del globo terrestre si è creato, nel mare caldo, l'unico ambiente che fosse adatto perchè dalla materia non vivente potesse originarsi la materia vivente, la materia, cioè, che avesse quelle proprietà (accrescimento, riproduzione...) caratteristiche della vita; e quando dico « ambiente » intendo dire condizioni di temperatura, di pressione, di salinità dell'acqua e di composizione dell'atmosfera al di sopra dell'acqua. E questo « ambiente », che era l'unico favorevole alla comparsa della vita, non era mai esistito sulla Terra fino allora e non è più esistito dopo di allora.

Esiste allora la speranza, se tutto ciò corrisponde a realtà, di potere riprodurre in laboratorio questo ambiente e di poter creare artificialmente la materia vivente. Ma per ora ciò è soltanto una speranza e probabilmente, se mai vi si riuscirà, dovrà passare ancora molto, molto tempo; perchè la materia vivente è una materia spaventosamente complicata, infinitamente più complicata nella sua costituzione di qualsiasi altra materia esistente in qualsiasi parte dell'universo.

Forse a molte persone ripugna l'idea che la materia vivente abbia avuto origine dalla materia non vivente per un susseguirsi di processi chimici e fisici, inevitabili in un dato ambiente; e forse esse pensano che la materia viva sia qualche cosa di così diverso dalla materia non viva, che per la sua origine sia necessario pensare a un apposito atto creativo. Ma alla vita non si deve attribuire ancora nessun tipo di qualità morali. Per quale misteriosa ragione un microbo, un pidocchio o un fungo dovrebbero essere considerati, per così dire « più alti » di una gemma splendente o del dolce luccicare del mare ai raggi del sole?

La selezione naturale

Si dice che ognuno di noi possegga sulla faccia della Terra un certo numero di sosia, cioè un certo numero di individui identici; ebbene, vi posso assicurare che non è vero. E non è vero per gli uomini come non è vero per gli animali e non è vero per le piante: anche se cercassimo in tutti i campi di grano di tutta la Terra, non troveremmo mai due spighe esattamente eguali; se riuscissimo a catturare tutte le farfalle non ne troveremmo mai due identiche. Ogni individuo (animale o vegetale) ha una sua propria individualità.

Quando perciò appare una nuova generazione (di qualsiasi animale o di qualsiasi pianta) i componenti di questa nuova generazione sono tutti diversi tra loro e, inoltre, sono diversi dai genitori; qualcuno sarà più forte, qualche altro sarà più debole, un terzo più adatto alla lotta per l'esistenza, un altro invece sarà meno adatto.

Naturalmente potrà accadere che per una disgrazia fortuita proprio il più forte di tutti muoia presto; ma, in media, i più robusti cresceranno e si riprodurranno mentre i più deboli e quelli meno adatti alla lotta saranno meno capaci di cercarsi il cibo e di difendersi dai nemici.

Così, a ogni generazione, in media verranno automatica-

mente eliminati i deboli e i meno adatti alla vita e rimarranno invece per la riproduzione i più forti e i più adatti; avviene man mano quella che si chiama la *selezione naturale*.

Vige, cioè, quella legge, molto naturale se pure poco morale, che si può enunciare così: morte ai deboli e largo ai forti.

Le mutazioni

In questo modo ogni specie diventa, a ogni generazione, sempre più adatta alla vita.

Di tanto in tanto, però, accade una cosa strana: questa cosa strana si chiama *mutazione*: ecco di che cosa si tratta.

Ogni individuo... (parlo sempre in senso generale; quindi un individuo può essere una pianta come un animale); dunque ogni individuo presenta sempre qualche differenza, anche piccolissima, rispetto ai suoi genitori o agli altri individui della stessa specie; qualche volta però accade che nella struttura di un individuo appaia qualche *improvvisa* novità, qualche mutazione. Nell'ultima parte di questo libro, quando ci occuperemo della Vita, vedremo tutto ciò molto più in dettaglio.

Ecco un esempio di mutazione. Un giorno dell'anno 1791 un americano, allevatore di pecore (si chiamava Set Wright), ebbe una strana sorpresa: una delle sue tante pecore aveva dato alla luce un stranissimo agnello che aveva l'aspetto di un... cane pechinese: schiena lunga, gambe corte e curve. Non era mai accaduto nulla di simile nel suo grande gregge! Ora il povero allevatore era sempre in lite con i vicini perchè le sue pecore sistematicamente saltavano gli steccati di confine e se ne andavano pacificamente a passeggiare nei campi altrui. Quando perciò egli vide quelle gambe basse e storte di quella strana bestia che pure era un agnello, ebbe un lampo di genio; pensò: « Se tutte le mie pecore avessero quelle gambe, non sarebbero più capaci di saltare le stecconate ed io potrei, finalmente, vivere in pace ». Detto fatto: uccise il suo vecchio montone, allevò il nuovo agnello e lo fece riprodurre. E per farla breve, riuscì in pochi

anni ad avere un nuovo gregge poco estetico a causa di quelle gambe ma molto più... casalingo. E potè, finalmente, vivere in pace con i suoi vicini.

È questo un esempio di mutazione opportunamente sfruttato dall'uomo. Ma quando l'uomo non ci mette la mano, entra in giuoco la selezione naturale. Infatti l'individuo mutato o può essere più adatto alla lotta per l'esistenza o può essere meno adatto; oppure, infine, può accadere che questa mutazione non abbia alcuna influenza sulla capacità di lotta dell'individuo. Nel primo caso la selezione naturale incoraggia questa mutazione, nel senso che l'individuo mutato ha più probabilità degli altri di giungere al momento della riproduzione; esso produrrà individui simili a lui e quindi molto adatti all'ambiente in cui vivono. Nel secondo caso soccomberà presto nella lotta per l'esistenza e quindi non si riprodurrà; nel terzo caso infine questo cambiamento nella struttura dell'individuo non sarà nè esaltato nè respinto dalla selezione naturale e si trasmetterà pacificamente ai discendenti.

Ecco come la selezione naturale, aiutata di tanto in tanto da qualche mutazione, rende gli individui di una specie di generazione in generazione più adatti alla crudele e mortale lotta per l'esistenza. Le mutazioni, e in generale tutte le variazioni, hanno un compito attivo poichè esse producono un individuo ora più ora meno diverso dagli altri individui della stessa specie; la selezione naturale ha invece un compito passivo: essa è nè più nè meno che un filtro che lascia passare quelle variazioni che rendono l'individuo più adatto alla lotta per la vita e rigetta tutte le altre.

Modificazione della specie

Così ogni specie, finchè le condizioni in cui essa vive rimangono le stesse, diventa di generazione in generazione più adatta all'ambiente. Perciò si andrebbe verso la perfezione se non ci fosse un guaio: si vede proprio che la perfezione non è cosa di questo mondo.

Il guaio è che le condizioni dell'ambiente non rimangono sempre le stesse. Il clima dei vari paesi ha subìto grandi cambiamenti: paesi ora tropicali sono stati un giorno coperti da ghiacciai e lo Spitzberg, per esempio, è stato un giorno ricoperto dalla lussureggiante vegetazione dei tropici. Non si tratta di cambiamenti periodici ma di lente fluttuazioni tra il caldo e il freddo.

Non si deve pensare che per la semplice ragione che un giorno la Terra era incandescente e oggi non lo è più, la storia del nostro clima sia soltanto una storia di continuo raffreddamento. Vi sono stati periodi di freddo intenso alternati con periodi più caldi; periodi di grande umidità e periodi di siccità. E poichè noi ora viviamo in un periodo particolarmente freddo, possiamo consolarci pensando che anche questo passerà e che tornerà un periodo di gran caldo. Io non vi sarò e (mi dispiace) nemmeno voi vi sarete: ma che importa? Non è il breve tempo di una vita umana che conta nella storia della Terra.

Le ragioni di queste fluttuazioni di clima? Per ora dico soltanto che sono ragioni astronomiche e terrestri e che sono talmente complesse che ancora oggi questo problema è molto lontano dall'avere avuto la sua soluzione soddisfacente: più avanti parlerò un po' in dettaglio di questi strani cambiamenti di clima.

Dunque, dato un certo ambiente, la selezione naturale lavora, lavora per rendere una specie adatta a quell'ambiente; ma sul più bello la temperatura cambia e quegli individui che erano oramai adattatissimi per vivere nel vecchio ambiente non lo sono più per il nuovo: tutto è da rifare; e la selezione naturale continua pazientemente il suo eterno lavoro di cernita producendo ora individui sempre più adatti a questo nuovo ambiente.

Supponiamo, per esempio, che in un paese terribilmente freddo, coperto di neve, vivano dei piccoli animali grigiastri coperti di pelliccia; ve ne saranno di più grigi, di meno grigi, di più impellicciati e di meno impellicciati. Quelli col pelo più folto e più bianco saranno nettamente favoriti nella lotta per l'esistenza, poichè resisteranno di più al freddo, saranno meno visibili ai nemici e passeranno più inosservati quando inseguono

la preda. Di generazione in generazione perciò il pelo diventerà sempre più folto e più chiaro.

Immaginiamo ora che il clima cambi, che la temperatura aumenti e la neve si sciolga; in queste condizioni gli animali con molto pelo bianco saranno particolarmente handicappati perchè creperanno dal caldo e saranno visti dai nemici e dalla preda lontani un miglio; ogni individuo di colore più scuro e di pelo meno folto si troverà in vantaggio. Perciò se avviene qualche mutazione in questo senso (colore più scuro e pelo meno folto) la selezione naturale la esalterà e di generazione in generazione gli individui saranno sempre più adatti al nuovo clima.

La specie così si è cambiata e si è adattata al nuovo ambiente: questo cambiamento e questo adattamento sono ciò che si chiama *modificazione della specie.*

Naturalmente se il cambiamento di clima è troppo brusco e se non appare in tempo una mutazione, quella povera specie così bianca e così impellicciata sarà sterminata dal caldo, dai nemici e dalla fame.

Differenziazione delle specie

Ma può anche accadere che quel cambiamento di clima non avvenga in tutto il paese abitato da quella certa specie; se, per esempio, una parte delle sue coste viene ad essere lambita da una corrente calda, avverrà che in una parte del territorio il clima diventerà più mite mentre in un'altra parte seguiterà ad imperversare il freddo e la neve. Quindi in una parte animali sempre più chiari e sempre più impellicciati e nell'altra pelo sempre meno folto e più scuro.

Ma non basta: cambiamento di clima può anche voler dire cambiamento di vitto e, di conseguenza, modificazione della dentizione e degli organi digerenti. Basta, per farla breve, poco per volta può venire un momento in cui queste due varietà separate di quell'unica specie, a forza di accumulare differenze individuali e mutazioni, siano diventate così diverse l'una dall'altra da essere oramai praticamente due specie diverse.

Questo è ciò che si intende quando si parla di *differenziazione delle specie.*

La vita cambia e non conosce mai tregua: ogni individuo nasce, si riproduce e muore: appaiono differenze individuali e mutazioni in un mondo che cambia. Nuove specie appaiono e specie vecchie spariscono. È un susseguirsi continuo di cambiamenti: è la vita.

Nel quale si spiega come stando seduti si può correre per 2000 milioni di anni

Dunque circa 1400 milioni di anni fa, è apparsa sulla Terra la vita; prima sotto forma molto semplice e poi, man mano, in forma sempre più complessa. E questa vita, che si svolgeva al principio soltanto nel mare, ha poco per volta invaso anche la terraferma. Ed oggi è tutto un brulicare di animali e di piante, i quali sono gli attori della eterna lotta per l'esistenza: lotta per procurarsi il cibo, lotta contro il clima e contro i nemici.

Anche nel caso particolare di quell'animale più complicato, che si chiama uomo, la lotta per l'esistenza è legge suprema; e per quanto gli uomini politici dovrebbero... Ma lasciamo andare e non pensiamo a malinconie.

Ed ora facciamo una corsa... una corsa di 2000 milioni di anni. Sdraiatevi un po' più comodamente e, partendo dal principio dell'èra arcaica, facciamo una corsa nel tempo fino a oggi.

Vedremo quali animali hanno calpestato la terra che oggi noi calpestiamo e vedremo quale vegetazione ha rallegrato quel paesaggio che è oggi il nostro paesaggio.

Dunque, cominciamo: 2000 milioni di anni fa...

L'èra arcaica

Duemila milioni di anni fa cominciava quel lunghissimo periodo della storia della Terra che si chiama èra arcaica. La grande quantità di ferro che si estrae oggi negli Stati Uniti è una molto piacevole eredità di quella lontana èra. Infatti allora nel fondo di un mare dalle acque basse si depositò una quantità enorme di composti di ferro; e per quanto non possiamo esserne proprio sicuri, i geologi pensano che questo ferro sia stato depositato con l'aiuto di speciali batteri e di alghe. Ciò dimostrerebbe che già la vita esisteva. Del resto il più antico resto di essere vivente conosciuto risale (pare) a 1400 milioni di anni: e sembra che sia l'avanzo di un'alga.

Ed ecco ora un avvenimento molto importante: una glaciazione. Come facciamo a saperlo? È molto semplice: negli strati di rocce di questo periodo troviamo, a un certo punto, grandi depositi di argilla contenenti quelle pietre striate così caratteristiche dei ghiacciai.

E dopo un intervallo di tempo di forse 200 milioni di anni, ecco una seconda glaciazione di cui troviamo tracce in Australia, in Norvegia e in Cina.

Già diverse specie animali e vegetali popolavano i mari, come ci dimostrano alcuni sottili strati di rocce calcaree, la cui formazione è sempre legata alla presenza di organismi viventi. Non si tratta certo di gran cosa: alghe, qualche corallo e forse anche una specie di scorpione di mare a cui è stato dato un nome anche troppo bello per uno scorpione: si chiama « Beltina ».

Probabilmente saranno esistiti allora anche altri animali, ma per ora gli strati di rocce dell'èra arcaica hanno conservato ben segrete le tracce della loro esistenza.

E riposiamoci ora un momentino, dato che abbiamo già corso per 650 milioni anni. E mentre ci riposiamo, chiacchieriamo un po'.

Entreremo ora nell'èra paleozoica, cioè nel periodo della vita antica. Ebbene, noteremo subito una cosa piuttosto strana: i fossili di questa èra ci rivelano un mondo di esseri viventi la cui abbondanza e la cui varietà sono in netto contrasto con la povertà della vita dell'èra precedente. Improvvisamente, senza transizione, si passa da quella povertà a questa abbondanza; si prova la stessa sensazione che, studiando la storia umana, si prova passando dal tempo favoloso della leggenda a un periodo storico del quale rimangano sicure testimonianze scritte.

Quale è la ragione di questa improvvisa abbondanza delle tracce di vita? Evidentemente tra l'èra arcaica e il paleozoico è trascorso un lungo periodo di tempo, come del resto è dimostrato dal fatto che gli strati arcaici sono stati sconvolti, contorti e spezzati varie volte prima che su di essi si depositassero gli strati del paleozoico. Dove sono allora gli strati di questo periodo intermedio? Non se ne trova traccia. Forse giaceranno sul fondo di qualche mare: ma è questo un forse non sostenuto da nessun dato positivo.

Comunque sia, tra l'arcaico e il paleozoico è trascorso un lungo periodo di tempo, durante il quale la selezione naturale ha assiduamente lavorato: il risultato di questo lavoro è l'apparire di molti nuovi tipi di esseri viventi.

Se a ciò aggiungiamo il fatto che durante questo periodo gli animali sono riusciti per la prima volta a costruirsi uno scheletro osseo, che è la parte del corpo che più resiste all'azione del tempo e che quindi è più facilmente conservato fino a noi, vediamo che, in qualche modo, possiamo riuscire a spiegarci la subitanea abbondanza dei fossili che ci offrono gli strati di rocce del periodo paleozoico.

Ed ora riprendiamo la corsa; la prossima tappa sarà soltanto di 350 milioni di anni.

TAVOLA X

Vulcani in eruzione. Sopra: il vulcano Asoma (Giappone) un minuto dopo l'esplosione (*Japan Photo Library, Tokio*). Sotto: una bocca apertasi alla base del conetto di un vulcano, nel fiume di lava (*Bruni Foto, Roma*).

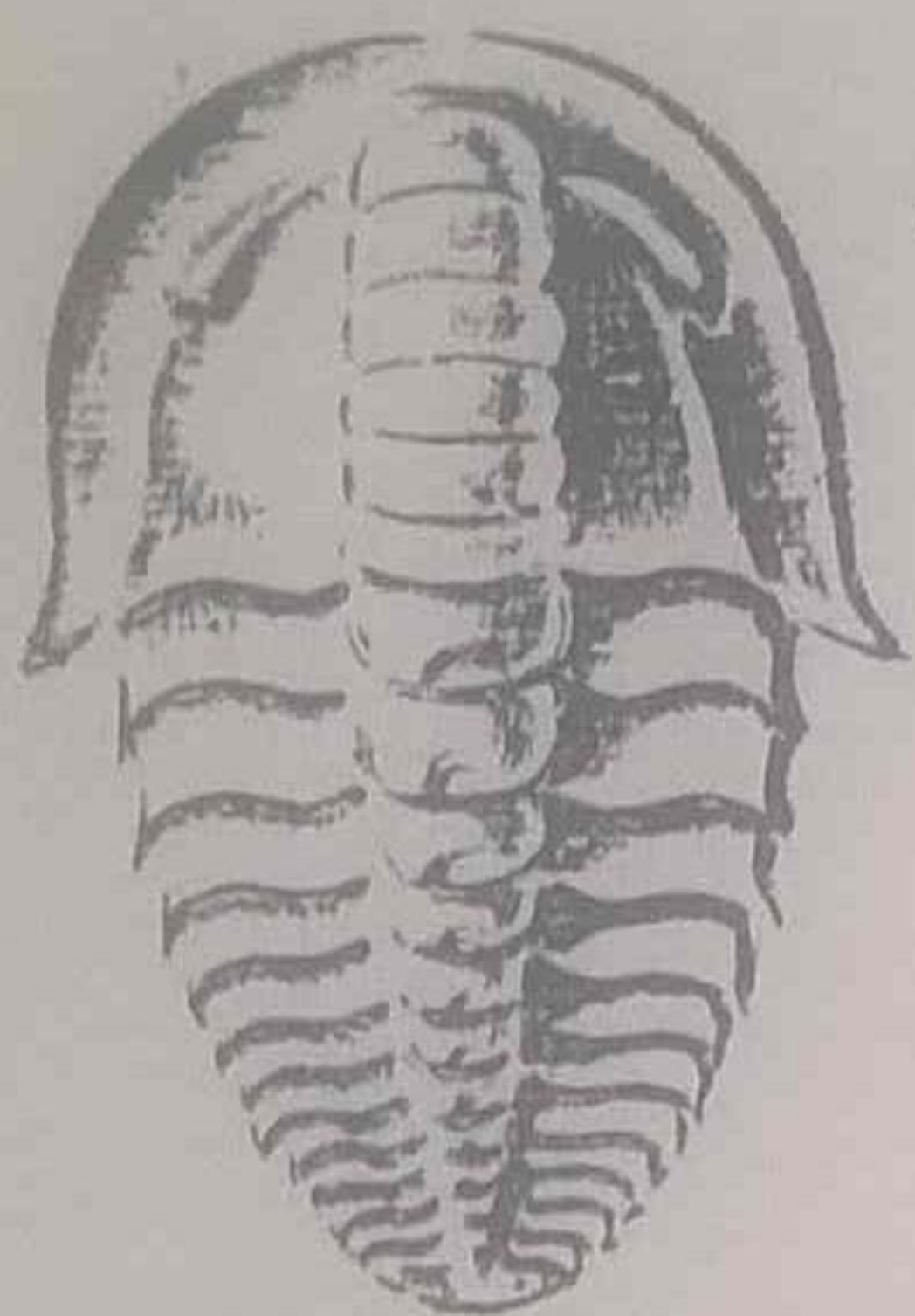
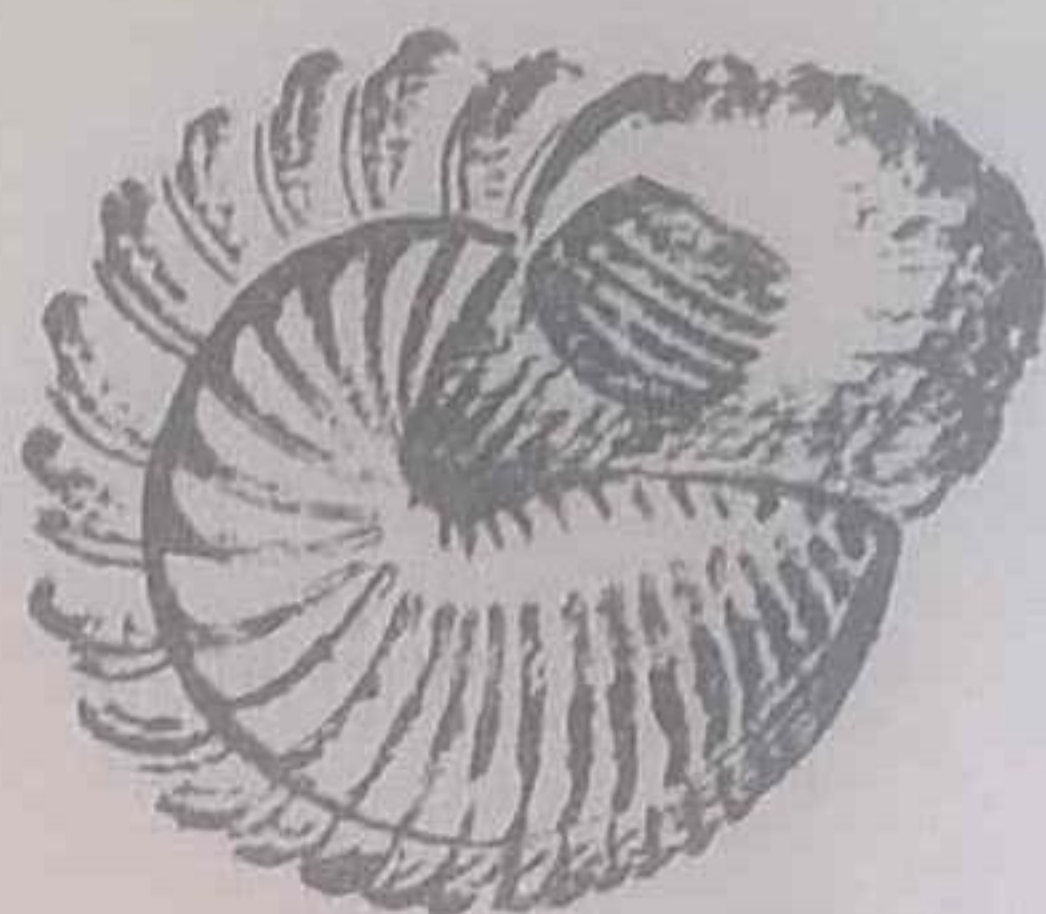
L'èra paleozoica

L'età delle trilobiti

Per ora è necessario correre sott'acqua perchè sulla terra non c'è nulla da vedere: deserto e desolazione; non una pianta, non un animale: soltanto desolazione e deserto.

Perciò correremo sotto la superficie del mare ancora per molti milioni di anni. La terra è deserta, ma nel mare che abbondanza e che varietà di vita! Ci incontriamo subito con gli animali che dominano nettamente in tutta la prima parte di questa èra: *le trilobiti*. Eccone subito una; esse avevano il dorso coperto da una robusta corazza divisa in diverse parti; due solchi longitudinali poi dividevano tutto il corpo in tre parti: da ciò il nome di trilobite.

Le trilobiti sono artropodi e, come tutti gli artropodi moderni, cominciano la loro vita con un corpo che presenta pochi segmenti e vanno man mano aggiungendone di nuovi.

Naturalmente si tratta di artropodi molto primitivi i quali

TRILOBITE DISTESA E ARROTOLATA

però, poco per volta, vanno dividendosi in una grande varietà di tipi: ve ne sono di quelli che vivono rintanati nel fondo del mare, ciechi o con occhi molto ridotti; ve ne sono alcuni che si sono dedicati a un genere di nutrizione esclusivamente vegetariana; i più audaci infine si sono liberati dalla schiavitù del fondo marino e nuotano liberamente qua e là.

Naturalmente per questi diversi tipi le esigenze erano diverse: per quelli che vivevano sul fondo, un'ombra che passasse tra loro e la luce poteva significare un nemico; di conseguenza essi avevano gli occhi sulla cima della testa. Per i liberi nuotatori, invece, i quali vivevano circondati da ogni parte da insidie e da nemici, era necessario poter abbracciare con lo sguardo la massima estensione possibile del loro mondo: essi avevano perciò occhi molto più grandi e posti da una parte e dall'altra della testa. E ve ne erano di più piccoli e di più grandi; ma nessuno di essi raggiungeva le dimensioni di uno di quei grandi crostacei che vivono oggi nei mari moderni.

Col passar del tempo le trilobiti acquistarono una proprietà molto utile: esse potevano arrotolarsi fino a diventare una piccola palla, in modo che non una piccola parte del loro corpo restasse allo scoperto; ben protette dalla corazza, si difendevano così dai loro nemici. E noi le troviamo oggi, dopo tanti milioni di anni, fissate per sempre in quella spasmodica posizione di difesa in cui furono sorprese dalla morte: morte dovuta forse ad asfissia.

Ma dopo un lungo periodo di grande abbondanza e di grande varietà accadde alle trilobiti ciò che accade a tutte le cose di questo mondo: diventarono man mano meno abbondanti, meno caratteristiche e dominanti; prima della fine del paleozoico le trilobiti sono sparite. *Sic transit gloria mundi.*

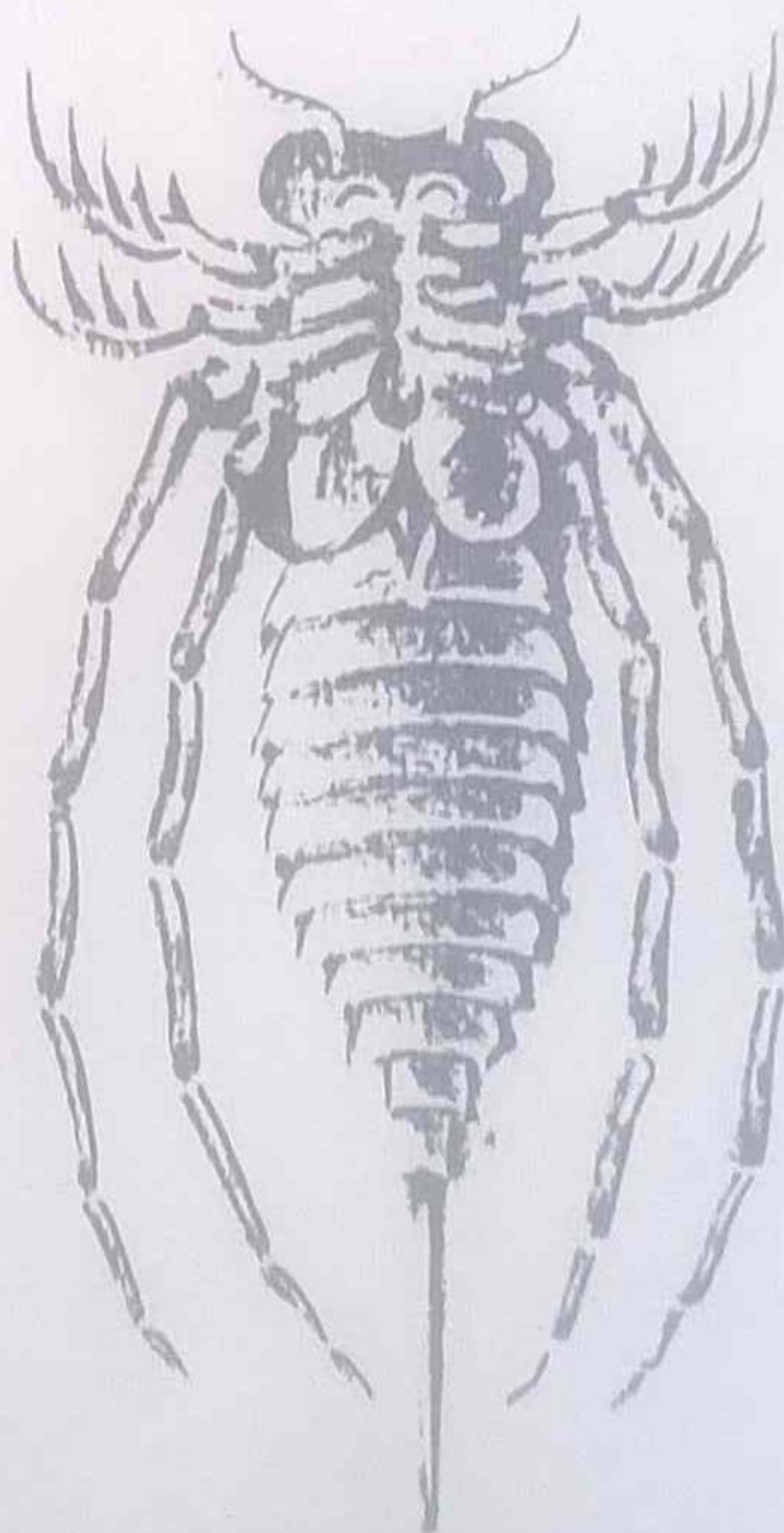
E a proposito di questa scomparsa delle trilobiti, voglio dire due parole un po' generali. Nei vari periodi della storia della Terra, si assiste progressivamente alla comparsa e alla scomparsa di nuove forme organiche. La vita delle specie viventi è stata perciò considerata analoga alla vita del singolo individuo: anche le specie, infatti, dopo un ciclo biologico più o meno lungo, sono destinate alla estinzione.

L'età degli scorpioni di mare

Man mano che le trilobiti percorrevano (ahimè) la parte discendente della loro parabola, i loro accaniti nemici, gli *euritteridi*, si ringalluzzivano ed estendevano il proprio dominio: questi crostacei, parenti acquatici degli scorpioni, rapidamente sorpassarono in dimensione le trilobiti, perchè raggiunsero anche la lunghezza di due metri.

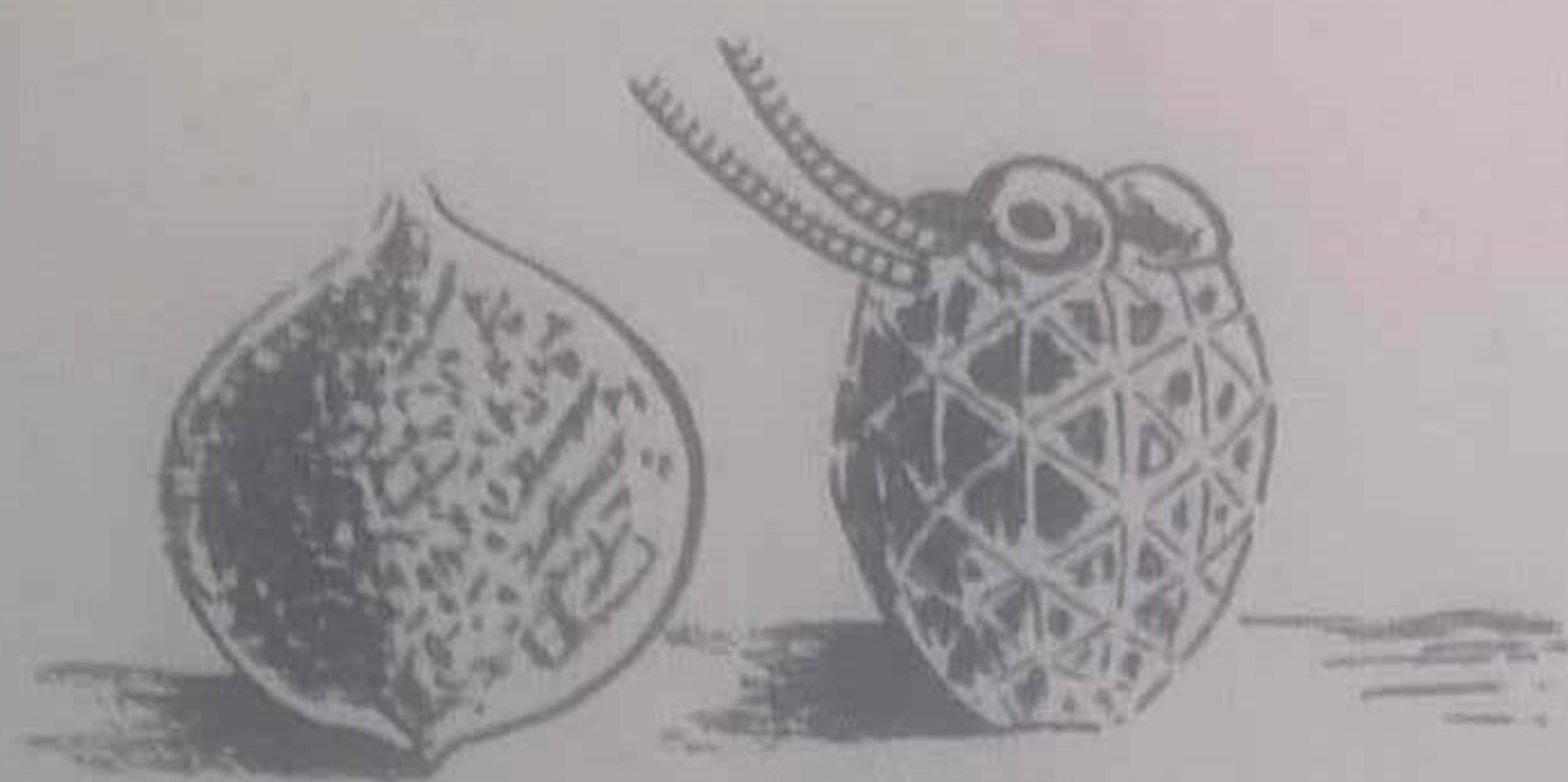
Ed anche queste bestie, dopo un periodo di splendore, conobbero la tristezza della decadenza; e durante questa decadenza cominciarono ad avere in dispregio il mondo dei loro padri: e stanchi del mare e del suo sale, si rivolsero all'acqua salmastra e all'acqua fresca e le ultime generazioni vissero nei laghi, negli estuari e nelle lagune.

EURITTERIDE

Alla fine del paleozoico anche gli euritteridi sono spariti.

Un fiore che è un animale

Aspettate un momento; il vostro amico ci chiama un momento laggiù, per mostrarci, ammirato, un bellissimo « fiore » che ondula mollemente. È bellissimo, sì, soltanto non è affatto un fiore ma un animale: è un echinoderma e precisamente un crinoide.

Gli echinodermi sono il punto debole di quasi tutti i paleontologi e non a torto: chi può guardare senza ammirazione la ricca e minuta ornamentazione della superficie di un riccio di mare, la molteplicità della sua armatura di punte, o la meravigliosa articolazione dello scheletro di una stella di mare o lo splendore di forme di un crinoide il cui calice, fornito di mirabili prolungamenti pennati, tremola come un fiore sul suo gracile stelo?

Naturalmente gli echinodermi che incontriamo in questo

ECHINODERMI DEL PALEOZOICO

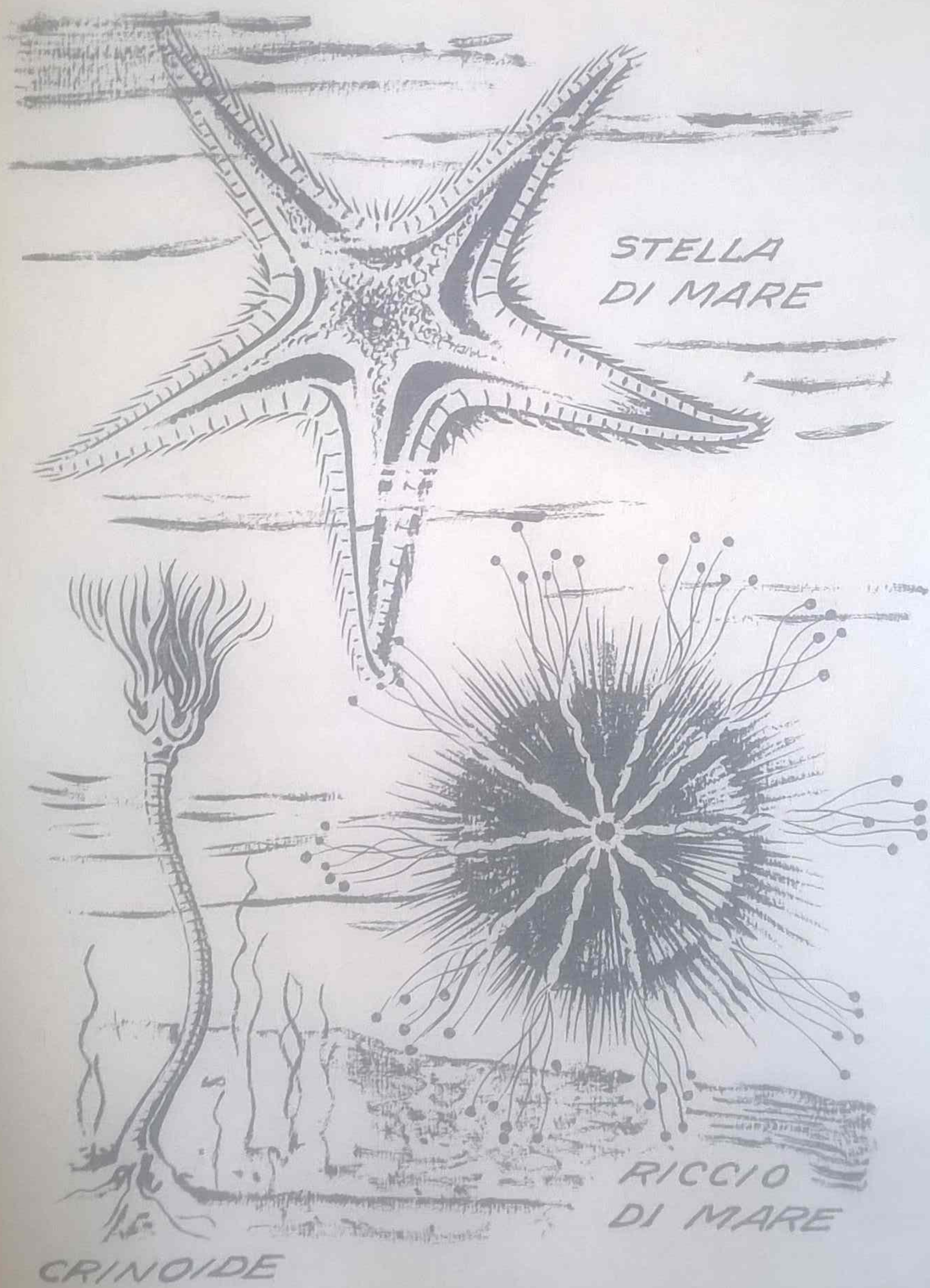
...LA FORMA DI UN DISCO PIATTO

mare paleozoico non sono proprio identici a quelli che vivono oggi: vi erano allora alcune classi che si sono poi estinte e ve ne sono oggi alcune che allora non esistevano. Tutto sommato però gli echinodermi sono un tipo molto longevo di animali i quali, senza essere troppo vigorosi nè troppo avventurosi, sono riusciti a superare felicemente gli anni e a vincere tutte le condizioni avverse.

Quelli che oggi si crede siano i capostipiti di tutti gli echinodermi erano piuttosto miserini: quasi senza peduncolo, nes-

STELLA
DI MARE

CRINOIDE

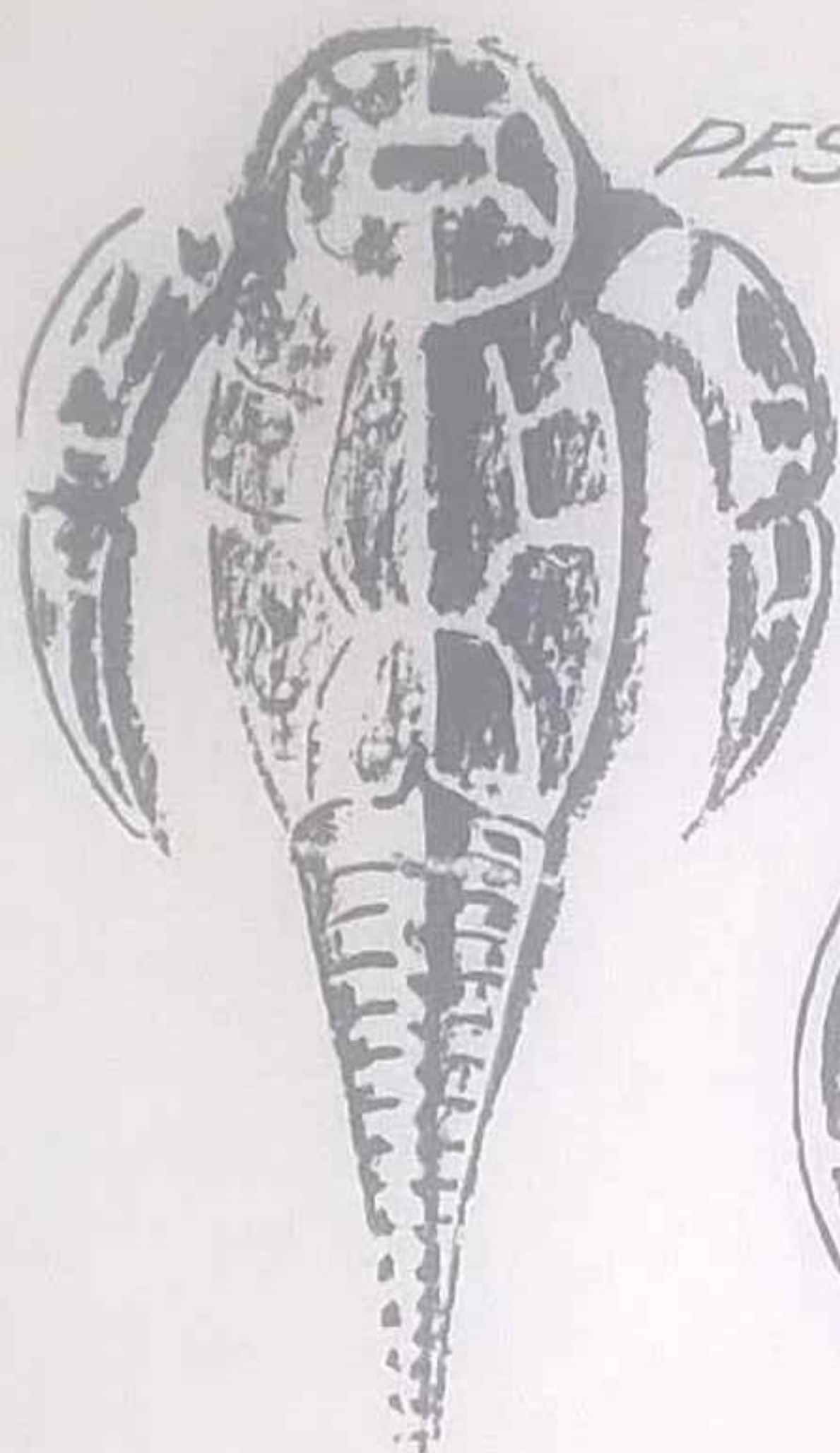
RICCIO
DI MARE

sun braccio o poche braccia; anzi qualche volta tutta la faccia inferiore del calice era saldata su un corpo estraneo e l'animale aveva la forma di un disco piatto. Ma poco per volta quel piccolo peduncolo si allunga e quelle poche braccia si moltiplicano: ed ecco il bel fiore oscillante sul suo stelo. Oppure anche il disco piatto lentamente si modifica ed ecco le stelle di mare che strisciano lentamente e silenziosamente sul fondo del mare e che sono la gioia dei bimbi d'oggi.

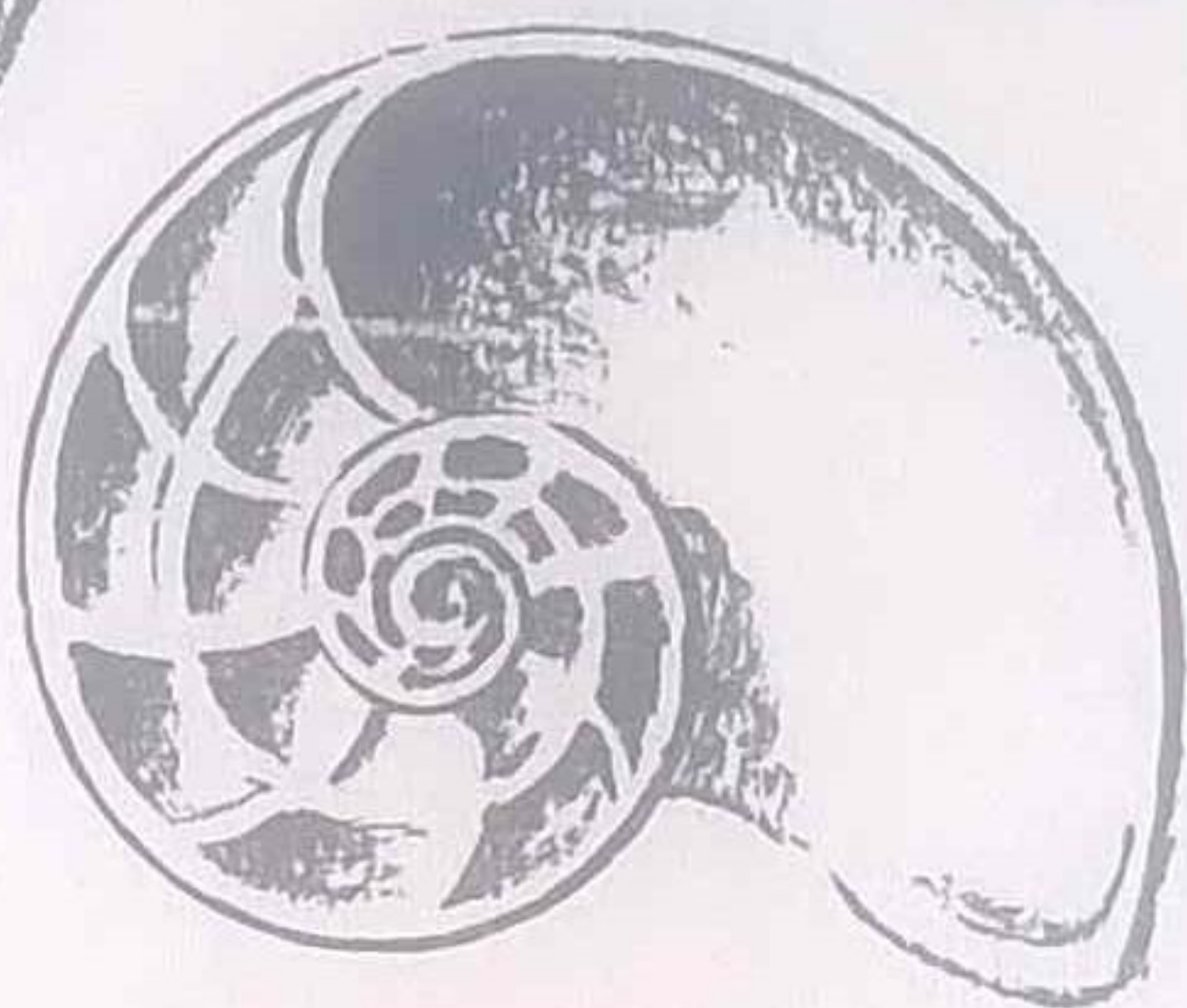
Ed ora riposiamoci un momentino qui, accoccolati tra un gigantesco euritteride e un romantico crinoide.

Dove si dimostra che il vestito è un bell'impaccio

Mentre durante la prima parte del paleozoico, i più grandi e forti animali erano stati le trilobiti, prendono più tardi il dominio dei mari i forti e predaci *cefalopodi*.

Al giorno d'oggi i cefalopodi sono rappresentati da animali liberi, arditi, predatori e voraci, tra cui si trovano le seppie e i polipi; quasi tutti questi cefalopodi viventi sono... nudi (non scandalizzatevi) o tutt'al più hanno, come la seppia, una parte dura interna. Invece tutti i mari del paleozoico brulicavano di cefalopodi molto pudicamente forniti di conchiglia, la quale nell'interno era divisa per mezzo di tramezzi trasversali, in tanti scompartimenti. L'ultimo scompartimento era la camera di abitazione dell'animale; tutti gli altri erano pieni di aria e permettevano ad esso di nuotare facilmente alla superficie del mare nonostante il peso della conchiglia calcarea.

Per quanto ingegnosa, questa conchiglia era un bell'impaccio. Capirete infatti che un cefalopodo nudo è ben più agile e veloce, e quindi è ben più adatto alla lotta, di un cefalopodo con conchiglia. Ecco perchè questi cefalopodi con conchiglia, dopo aver vissuto intensamente per circa trecento milioni di anni, cominciano a declinare; finchè nell'èra successiva, il mesozoico, resta come loro unico rappresentante il Nautilus, il quale, bene o male, si adatta a vivere, tanto che ancora oggi

PESCE CORAZZATO

CONCHIGLIA SEZIONATA DI NAUTILUS

lo si trova laggiù nei mari delle Molucche e intorno a Giava; ultimo rampollo di una stirpe un tempo tanto diffusa.

I pesci

Nel tenere il dominio dei mari si sono già succeduti le trilobiti e i cefalopodi; ma ben presto anche questi devono cedere il loro scettro perchè ecco sorgere pericolosissimi concorrenti: i pesci. Ma non si tratta nè di merluzzi, nè di salmoni, nè di trote...; il mare in cui stiamo viaggiando ci offre soltanto squali, alcuni pesci analoghi al nostro storione e molti « pesci corazzati » di cui oggi non si trova più traccia.

Questi pesci corazzati sono veramente i pesci più bizzarri che siano mai esistiti. Sono muniti di poderose piastre ossee, le quali formano una solida corazza. Uno ha il capo coperto da un robusto scudo semicircolare, il quale si prolunga dietro in corna ed ha nel mezzo, molto vicine l'una all'altra, le aperture per gli occhi; un altro ha tutto il capo e tutto il tronco fortemente corazzati, ma questa volta la corazza è costituita da un grande numero di placche disposte in modo rigorosamente regolare; un terzo ha nella parte anteriore del corpo due forti

pinne pettorali conformate a sciabola le quali sono anche esse corazzate... Insomma corazze a tutto spiano, come i guerrieri del Medioevo; lo strano, però, è che soltanto la parte anteriore del corpo è così validamente difesa, mentre la parte posteriore è sottile e tutt'al più rivestita soltanto di deboli squame. Forse questi pesci vivevano affondati con l'estremità posteriore nel fango e nella sabbia e in questa posizione spiavano tranquillamente la preda; la coda non era esposta agli attacchi dei nemici e quindi non aveva bisogno di corazza.

Ed ora, finalmente, torniamo in superficie e approdiamo sulla terraferma per accogliere i suoi primi abitanti. Ma diamo prima un ultimo sguardo intorno e salutiamo laggiù i coralli affaccendatissimi nella loro costruzione: quei coralli morranno, secoli e secoli passeranno ma le loro costruzioni, più o meno diroccate e malconce, giungeranno fino a noi: ecco infatti calcari corallini di quel periodo nelle Alpi Carniche, nelle Ardenne, in Boemia, in Francia, in Inghilterra, nell'America settentrionale.

Ed ora a terra; sgranchiamoci un po' le gambe e respiriamo a pieni polmoni; si stende innanzi a noi un paesaggio pietroso, senza traccia di vita.

L'acqua e la vita

La terra era allora nuda e spoglia, più nuda e spoglia di qualsiasi nostro deserto; e sulle nude rocce scoscese e sulle pianure desolate nulla si muoveva tranne il vento e la pioggia. Nel mare pullulava la vita, ma la terraferma era un campo ancora vergine da conquistare.

A pensarci bene, a quei tempi gli esseri viventi avevano a loro disposizione uno spazio piuttosto ristretto: dovevano vivere nell'acqua, perchè uscirne voleva dire morte sicura; e del mare potevano utilizzare soltanto una piccola parte perchè per vivere avevano bisogno di luce.

Naturalmente poteva accadere che ci si trovasse fuor d'acqua anche contrariamente alla propria volontà: una bassa marea che sorprendesse un po' all'improvviso, un periodo di siccità che facesse asciugare le pozze d'acqua ed ecco un'ecatombe. Quindi

ogni mutazione che permettesse a questi animali acquatici di resistere durante le ore di bassa marea o durante i periodi di siccità, rendeva l'animale più adatto a sopravvivere; essa, per così dire, veniva accolta con entusiasmo e incoraggiata dalla selezione naturale.

Mettiamo però le cose bene in chiaro: essere capaci di vivere fuor d'acqua non vuol dire essere capaci di fare a meno dell'acqua. Nessuna creatura — e parlo delle creature oggi viventi — può respirare, nessuna può digerire il suo cibo senza l'acqua. Noi diciamo « respirare l'aria », ma ciò che in realtà ogni essere vivente fa è respirare l'ossigeno disciolto nell'acqua; e tutto il nostro cibo deve liquefarsi prima di poter essere assimilato. Quindi vita fuori dell'acqua sì, ma vita senza l'acqua no.

Gli animali che vivono sott'acqua sono forniti di branchie per mezzo delle quali estraggono l'aria disciolta nell'acqua; in questo modo essi respirano. Ma una creatura che debba vivere per qualche tempo fuori dall'acqua, deve avere il corpo e l'apparato respiratorio ben protetti in modo da non asciugarsi.

Perciò prima che gli abitanti dei mari paleozoici possano uscire dal loro vecchio ambiente, l'acqua, e venire a esplorare questa terra deserta, devono costruirsi qualche cosa che serva a ben custodire l'umidità interna.

Il cibo e l'aria sono indispensabili alla vita. Ma alla base di tutto ciò è l'acqua. Che sia questa la ragione dell'attrazione irresistibile che l'acqua esercita su tutti noi? Che sia questa la ragione per cui ogni bimbetto, se non è vigorosamente trattenuto, corre a zampettare felice in tutte le pozzanghere che incontra sulla sua strada?

Conquistare le proprie gambe

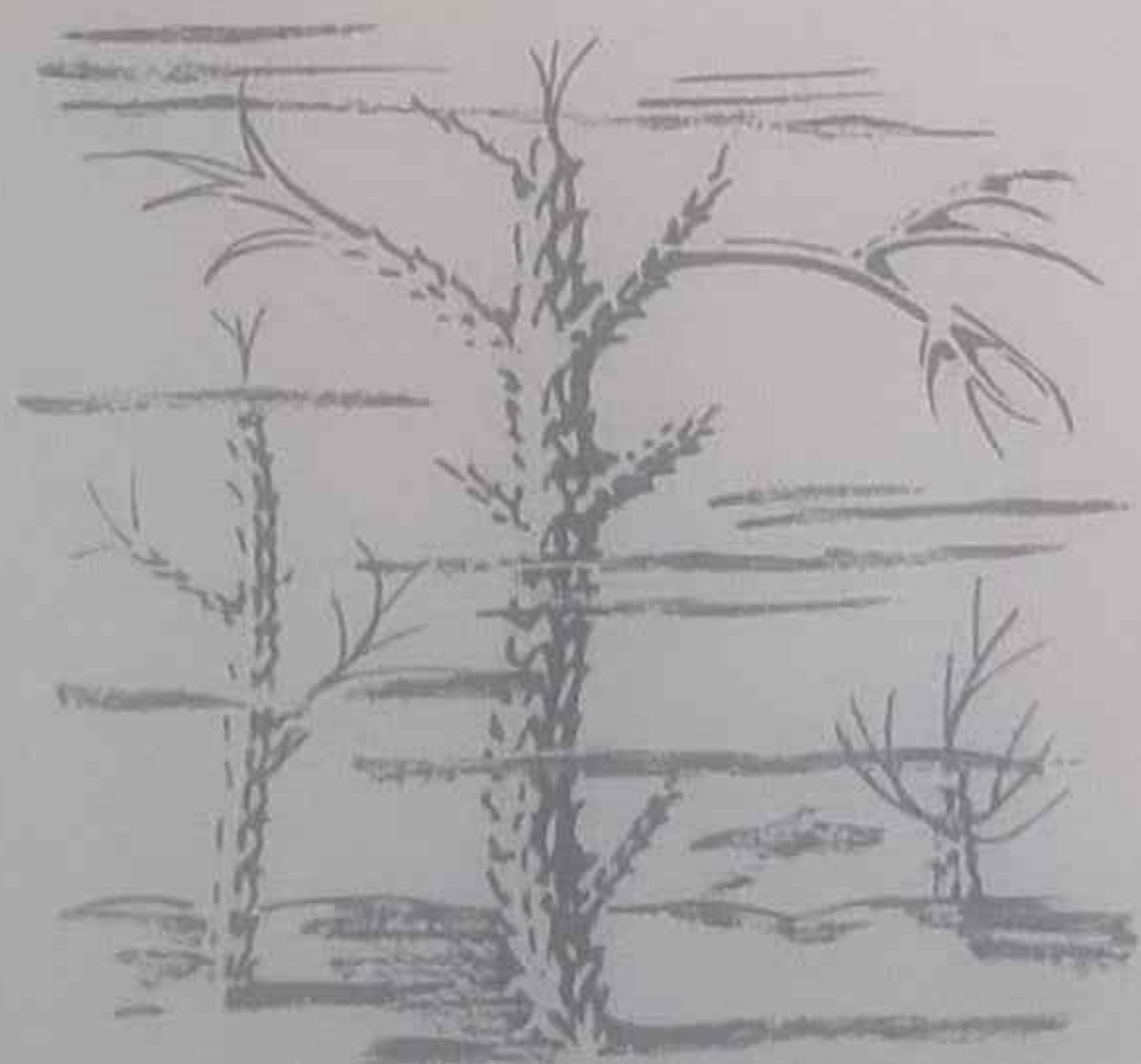
Per prime le piante hanno esteso fuor d'acqua il loro dominio; e la loro benefica utilizzazione dell'energia solare ha gradatamente arricchito il mondo, raddolcendo i suoi contorni e il suo clima e riducendo l'estensione dei suoi vasti deserti.

Ma prima che le piante potessero colonizzare la terra, dove-

vano compiere un lunghissimo lavoro: esse dovevano modificare tutta la loro struttura e il loro sistema di riproduzione.

Nell'acqua le piante erano abituate a un genere di vita molto comodo: esse vivevano, per così dire, immerse nel cibo. Ma sulla terra la vita è ben più dura: da una parte esse devono protendersi verso l'alto nell'aria e nella luce per procacciarsi carbonio; dall'altra parte, per procurarsi acqua e sali minerali, devono spingersi profondamente nel suolo. E queste sostanze prese dal suolo devono venire in contatto con il carbonio preso dall'atmosfera prima che si possa dire che si sia formato qualche cosa a cui dare il nome di cibo: di conseguenza si deve sviluppare un sistema di tubi il quale ponga in comunicazione la radice con la foglia. Una volta confezionato, il cibo deve essere distribuito in tutta la pianta: ecco quindi un secondo sistema di tubi, i quali sono però molto più numerosi dei precedenti.

Capite che razza di difficoltà? Ma non è ancora finito. Ricordate che cosa abbiamo fatto appena abbiamo messo piede sulla terraferma dopo aver tanto girovagato sott'acqua? Ci siamo sgranchite le gambe. Le gambe... ecco una delle cose di cui ebbero bisogno gli esseri viventi per conquistare la terraferma. E quando dico « gambe » intendo dire soltanto qualche cosa che permetta di star su da soli. Perciò, in questo senso, anche le piante, per poter venire a rendere meno desolato e brullo il paesaggio terrestre, avevano bisogno di... gambe, cioè di un solido sostegno autonomo. Ed ecco che le piante si costruiscono il loro scheletro ligneo, forte per quanto flessibile.

Radici e stelo, scheletro ligneo, sistemi di tubi interni: ecco una pianta essenzialmente terrestre. E quei tratti di spiaggia che erano volta a volta sommersi e lasciati scoperti dal flusso di marea erano la scuola nella quale le piante acquatiche imparavano i segreti della vita aerea.

...IMPARAVANO I SEGRETI DELLA VITA AEREA

Carbone e carbone

E non appena le piante ebbero acquistato il potere di vivere la loro nuova vita, si svilupparono subito con una straordinaria ricchezza e varietà. Eccoci infatti giunti, durante questo nostro strano viaggio, in una foresta. Siete delusi? Vi aspettavate forse una rigogliosa foresta tropicale ed ecco invece una foresta molto triste: felci arboree con alto fusto legnoso e alberi giganteschi i quali raggiungono l'altezza di 40 metri; alcuni con pochi rami e con foglie setolose che danno loro l'aspetto poco... lussureggiante di quelle spazzole destinate a pulire i tubi dei lumi a petrolio; altri più biforcati e con i rami maggiormente distesi i quali però non formano una densa e ombrosa chioma, ma danno piuttosto la sensazione di una nuda calvizie. I fusti di tutti questi alberi sorgono dall'acqua da un groviglio di soffice muschio.

Spazzole e calvizie: poco attraenti queste foreste del paleozoico; poco attraenti, è vero; ma vedrete quanta riconoscenza dobbiamo loro! Continuiamo infatti il nostro viaggio per qualche milione di anni e guardiamoci intorno: carbone, carbone e carbone. Spettacolo questo che, per quanto cupo, ci riempie di gioia.

Torniamo un pochino indietro: siamo di nuovo nella foresta; passano gli anni ed essa diventa sempre più ricca e rigogliosa. Frattanto il terreno sul quale essa cresce è soggetto a un generale abbassamento, il quale è accompagnato da ripetute piccole oscillazioni di livello. Che cosa accade allora? Una rigogliosa foresta si forma, il terreno si abbassa, la foresta è sommersa e su di essa si deposita uno strato di sedimento sabbioso o fangoso; il terreno si solleva e nasce un'altra foresta che diventa a sua volta ricca e rigogliosa; a suo tempo anche essa sarà sommersa, uccisa e conservata. Un'altra foresta sorge... e così di seguito.

Ancora oggi in una miniera di carbone si può leggere il risultato di questa prolungata altalena, poichè gli strati di carbone appaiono alternati con strati di altre rocce, proprio come in

uno di quei gelati nei quali si vedono disposti in appetitoso ordine tanti strati di diverso colore.

Però, per quanto una grande parte del carbone sia formata dai residui di generazioni e generazioni di piante cresciute nelle paludi e morte là dove erano cresciute, non è quello l'unico modo di produzione. Qualche volta foreste propriamente terrestri furono lentamente invase e sommerse dalle acque; e molti alberi e legno e foglie furono trasportati dai fiumi e poi depositati: di conseguenza si è formato carbone anche negli estuari, nei laghi e nelle paludi torbose.

Quindi è giusto che noi siamo riconoscenti alle foreste per l'enorme quantità di carbone che mettono oggi a nostra disposizione; ma dobbiamo ringraziare anche il clima e la lunga oscillante indecisione delle coste.

Molto giustamente a quell'intervallo di tempo del paleozoico nel quale si andarono depositando così ricche riserve di carbone, è stato dato il nome di *carbonifero*. Esso è durato diversi milioni di anni.

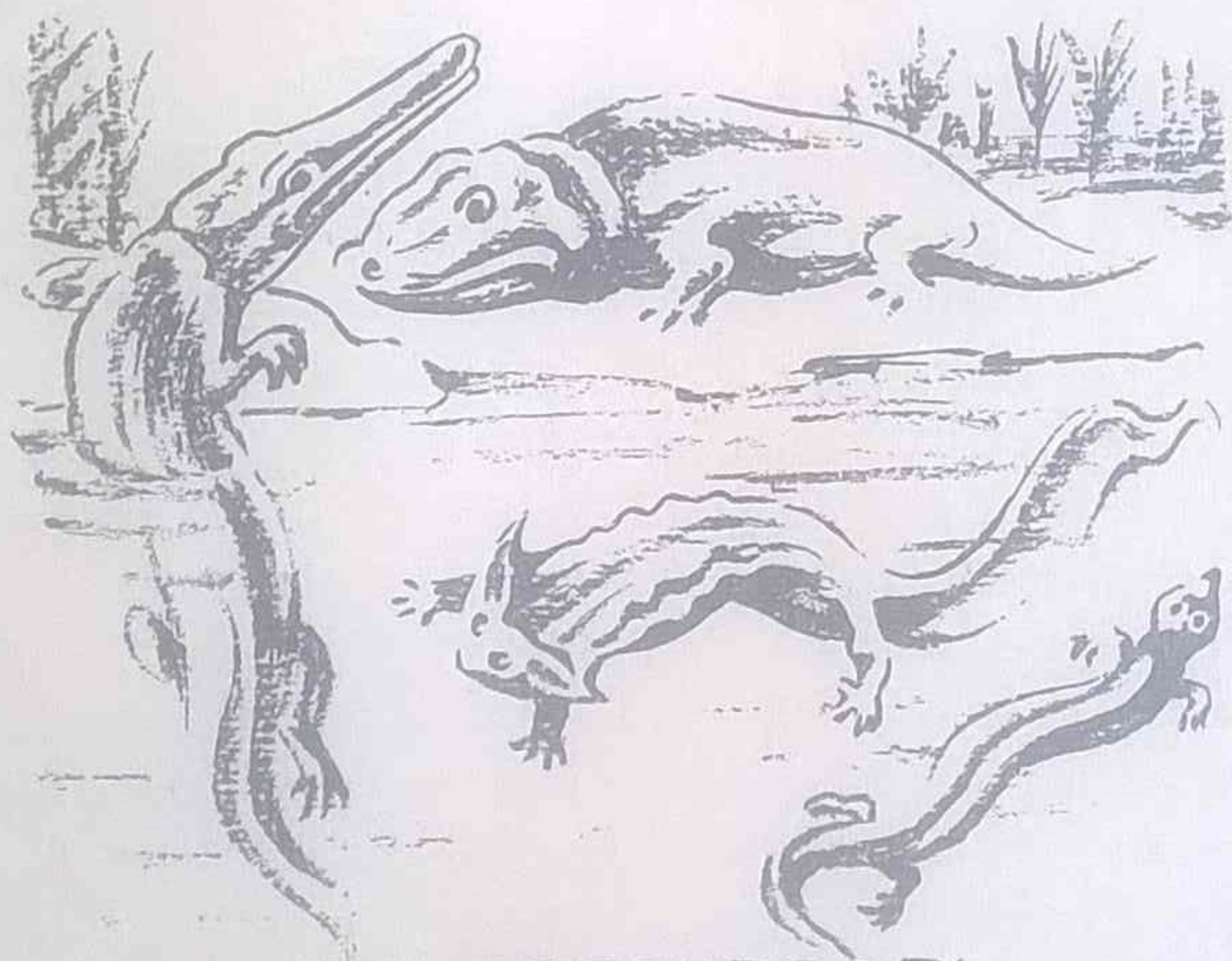
Ma l'uomo moderno è molto, troppo prodigo: esso sta spendendo in pochi secoli ciò che ha richiesto, per la sua formazione, milioni di anni.

I primi vertebrati

Che cosa facevano nel frattempo i pesci? Anche con essi la selezione naturale aveva molto, molto da lavorare e si affrettava ad approfittare di tutte le mutazioni che le sembravano più favorevoli.

Ed ecco i pesci costruirsi uno scheletro osseo: alcuni di essi continuano la loro vita nel mare, altri intraprendono la colonizzazione della terraferma. Al nostro approdo ci siamo sgranchite le gambe ed abbiamo respirato a pieni polmoni: e proprio di gambe e di polmoni avevano bisogno quei vertebrati colonizzatori.

La selezione naturale lavora... ed ecco i primi precursori

dei vertebrati terrestri, strane bestie dal nome ancora più strano: *stegocefali*. Questi anfibi primitivi comprendono forme le più diverse: uno ricorda un'agile lucertola, un altro somiglia a un piccolo coccodrillo, un terzo ricorda un serpente, un altro infine è come una massiccia e mostruosa salamandra di dimensioni gigantesche, il cui capo è talora molto più grande di quello di un coccodrillo. Le larve di questi animali respiravano per mezzo di branchie; poi man mano, durante lo sviluppo, le branchie venivano deposte insieme ai loro sostegni e gli ani-

...I PRIMI PRECURSORI DEI VERTEBRATI TERRESTRI...

mali assumevano la respirazione bronchiale; nello stesso tempo il cranio diveniva più aguzzo, il bacino si spostava all'indietro, il tronco si allungava e la coda fornita di brevi coste si accorciava.

Questi primitivi anfibi volgevano le spalle all'acqua, dimora dei loro antenati, e rivolgevano lo sguardo cupido alla terra inesplorata, a quelle verdi foreste paludose così strane, senza fiori, senza uccelli, senza il ronzio degli insetti; a quelle foreste che sembravano in attesa, in un silenzio da incubo, rotto soltanto dal mormorio delle acque, dal suono del vento tra i rami o dallo scricchiolio di qualche albero che moriva. E sulle rive dei laghi

e delle pozze, ecco strisciare i primi anfibi e i primi rettili, la più alta espressione della vita di allora. Ma lontano dall'acqua la terra era ancora deserta e priva di vita.

Gli anni passano: si sente ora ronzare qualche insetto, si vede strisciare qualche chiocciola e qualche cosa simile al nostro scarafaggio corre a rimpiattarsi di giorno per uscire di notte in cerca di alimenti.

Il sipario si abbassa sul lutto e la desolazione

E la nostra corsa continua, per centinaia di migliaia di anni, tra paludi, laghi, pozze e coste oscillanti, in un clima caldo e umido; ai nostri piedi si accumula il carbone. Veramente di tanto in tanto attraversiamo anche un periodo di freddo: rabbrividiamo e ci stringiamo i panni addosso. Ma si tratta di breve parentesi: eccoci di nuovo al caldo e all'umido, ecco di nuovo prosperare quelle foreste che il freddo non ha avuto tempo di distruggere completamente.

Ma tutto ha un termine, anche il caldo e l'umido: rabbrividiamo ora ben più a lungo e ben più stretti ci avvolgiamo nei nostri panni; non più rigogliose foreste ma gelidi ghiacciai; non più un clima caldo e umido ma un clima freddo e asciutto.

Ogni essere vivente cerca di adattarsi, con più o meno successo, alle nuove, spiacevoli condizioni di vita. Ed ecco piante più piccole e meno lussureggianti con foglie più grosse e più solide; è questa la cosiddetta *flora a Glossopteris,* dalla prevalenza in essa di questa pianta cespugliosa dalle lunghe foglie. Lentamente questa flora dal Sud (Africa, India, Australia) si propaga verso il Nord sostituendo le rigogliose foreste del felice tempo del caldo e dell'umido. E tra gli animali è una vera ecatombe. Così si chiude il periodo paleozoico, tra il lutto e la desolazione.

E dopo questa altra tappa del nostro viaggio, questa lunga tappa di 350 milioni di anni, riposiamoci lungamente; sdraiamoci su un prato fiorito e dimentichiamo la tristezza di quelle foreste silenziose.

L'èra mesozoica

Avvento dell'uovo con guscio

Quando riprendiamo la nostra corsa per percorrere la tappa successiva, che si chiama èra mesozoica (130 milioni di anni), troviamo che la vita è entrata in una fase di ricchezza e di espansione.

La vegetazione ha fatto veramente grandi progressi nell'arte di vivere fuori dall'acqua; non più foreste paludose ma piante che vivono ora decisamente al di sopra del livello dell'acqua: felci, conifere, palme. Con ciò il paesaggio guadagna in varietà ma non molto in allegria; non vi sono fiori e non esistono quelle luminose tinte autunnali che fanno così dolce il tempo della caduta delle foglie: e ciò perchè non vi è ancora nessuna caduta di foglie.

Ma quando parlo delle conifere dell'èra mesozoica, non si deve pensare ai pini e agli abeti che ricoprono oggi i pendii delle alte montagne: si deve pensare a quelle piante sempreverdi delle pianure. Le montagne erano ancora brulle e senza

vita, ancora esposte senza riparo alla furia distruttrice del vento e della pioggia.

E queste pianure coperte da fosche foreste uniformi erano popolate da creature la cui forma sfida la fantasia più selvaggia: è questa l'età d'oro dei rettili.

Tra gli anfibi e i rettili vi sono molte differenze; una delle più importanti è che gli anfibi vanno a deporre le loro uova nell'acqua e nell'acqua trascorrono la prima parte della loro vita; i rettili invece si sono liberati del tutto dalla schiavitù dell'acqua poichè essi, per la loro riproduzione, depongono fuori dell'acqua un uovo fornito di guscio.

Capite che cosa vuol dire: un uovo con guscio? Per voi forse vuol dire soltanto una dorata frittata, ma per i rettili voleva dire aver tagliato l'ultimo anello della catena che ancora teneva gli animali legati all'acqua. Era abolito così il periodo larvale: ben protetto dal solido guscio dell'uovo, l'individuo trascorreva il primo periodo della sua vita in un ambiente molto... umido, qualunque fosse la siccità esterna; esso si infischiava altamente della presenza o meno, nelle vicinanze, del mare, di laghi o di pozze.

I rettili

Eccoci dunque tra i *rettili*, dominatori del mondo mesozoico tanto sulla terraferma come nell'acqua; orrendi colossi che letteralmente brulicavano nel mondo di allora.

Ecco che già essi, che fino allora, a causa del grande addome e delle gambe non molto forti, si erano trascinati come un coccodrillo moderno, cominciano ben presto ad alzarsi e a camminare a passi eguali.

Questi rettili avevano ripudiato l'acqua; ma qualcuno è preso forse da nostalgia e ritorna di nuovo nell'elemento caro agli antenati; ma vi ritorna con ben altre possibilità. La vita sulla terra aveva richiesto una grande forza e una grande attività per poter affrontare quella nuova, imbarazzante proprietà che era

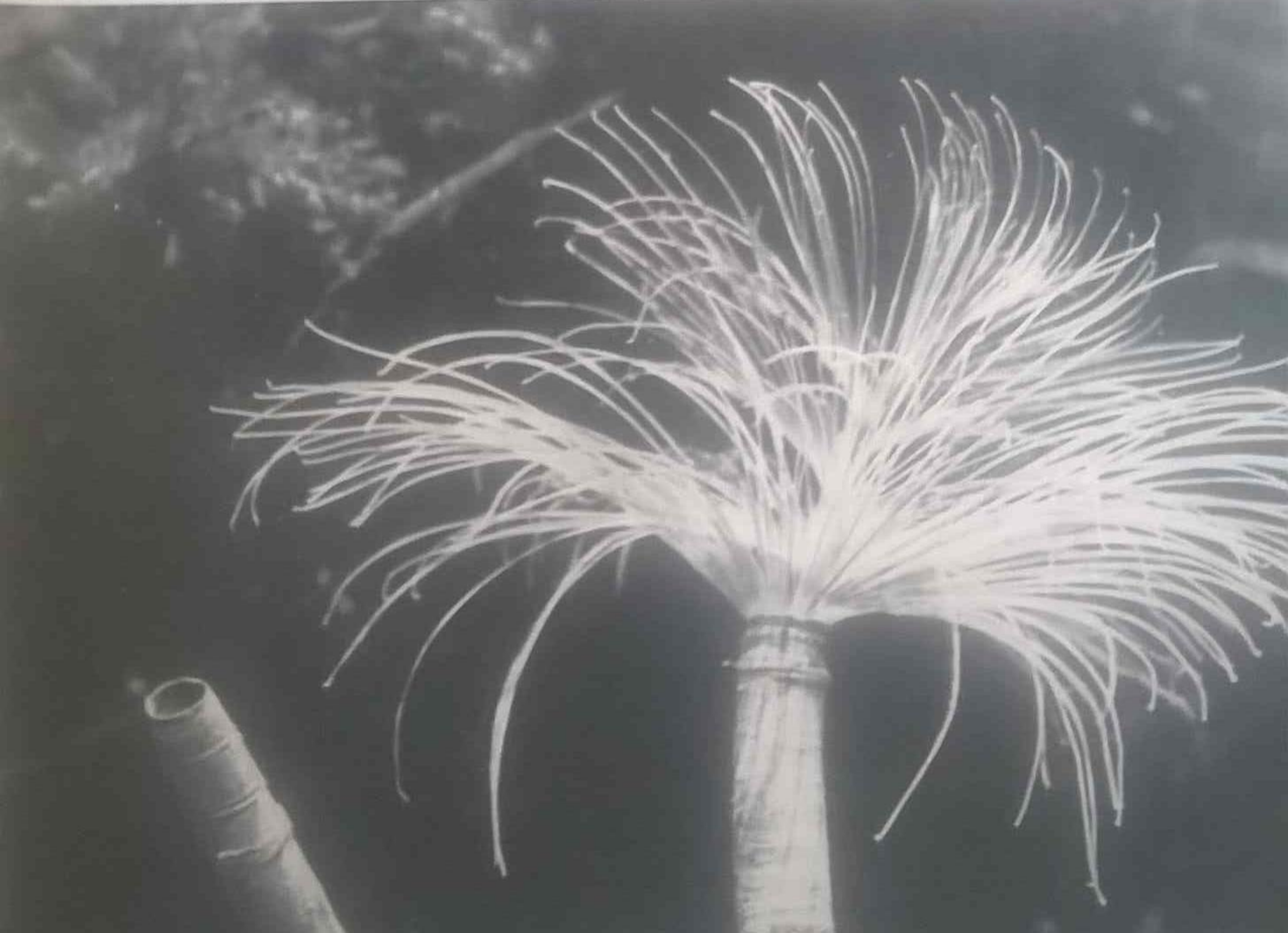
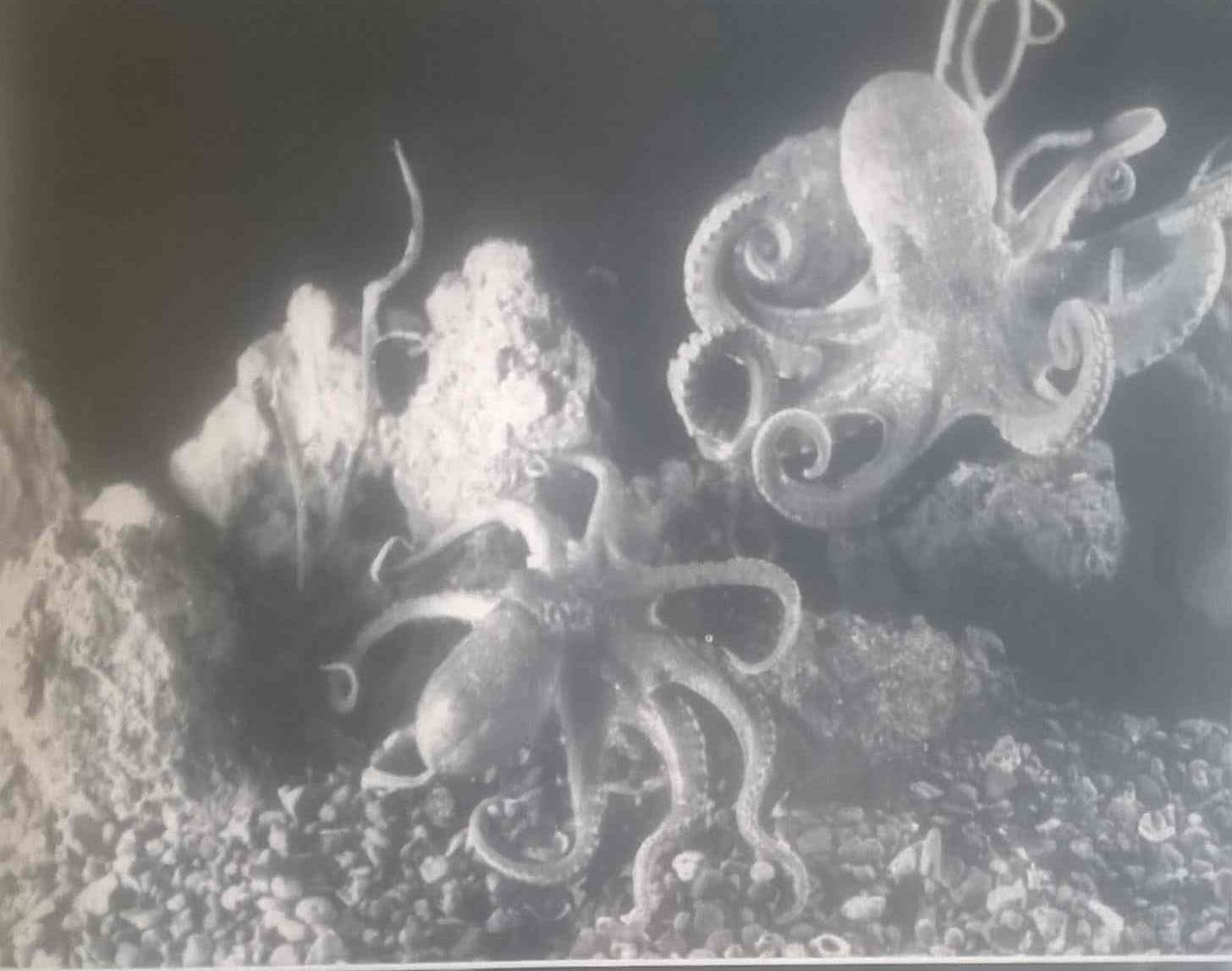
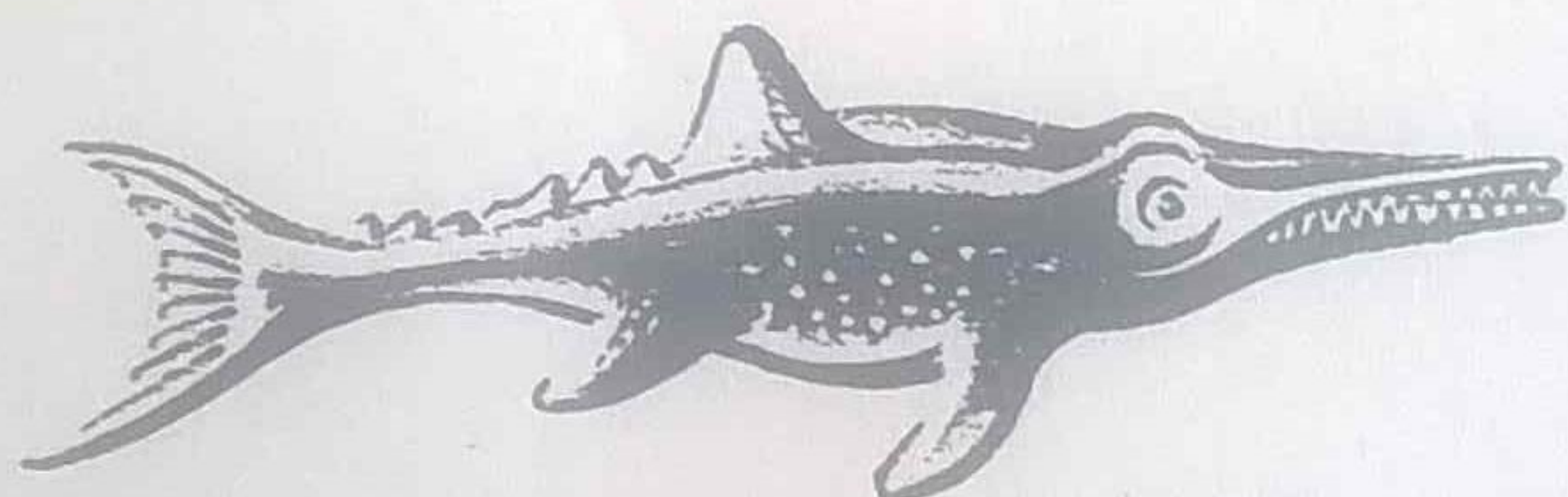



TAVOLA XI

Vita sottomarina. Sopra: un polipo, l'Octopus vulgaris (*dal film* Vita nella scogliera sommersa *di A. Fasanotti*). Sotto: un crinoide, lo Spirographis Spallanzani (*Foto del prof. Schulz-Kamphenkel*).

apparsa in pieno quando la vita aveva abbandonato l'acqua: questa nuova proprietà era il peso. Inoltre la vita sulla terra aveva richiesto una pelle resistente e impermeabile per resistere alla siccità, una grande resistenza e un grande potere di autoregolazione per poter affrontare gli estremi e rapidi cambiamenti di temperatura, speciali metodi di riproduzione e una protezione efficiente per i primi stadi di vita.

Perciò quando l'animale terrestre, armato di tutte queste nuove proprietà, ritorna nell'acqua, esso può con pieno successo competere con quelle creature che non avevano mai abbandonato il vecchio ambiente. Ecco perchè questi nuovi animali acquatici diventano i dominatori del mare, alla cui voracità e alla cui agilità difficilmente una preda riusciva a sfuggire.

Ed ecco lì un *ittiosauro* col corpo analogo a quello del delfino, il muso lungo e sottile, il collo breve, la pelle nuda; la

ITTIOSAURO

coda è trasformata in una pinna e l'adattamento delle zampe alla vita acquatica è tanto avanzato che perfino il numero cinque delle dita non è più conservato, ma per la divisione di alcune dita il numero ne è aumentato, in modo da stabilire un'apparente somiglianza con i pesci. Badate bene: soltanto un'apparente somiglianza; ricordate sempre che si tratta di un rettile e non di un pesce.

Questi ittiosauri, come oggi le balene, si erano così bene adattati al loro modo di vita, che non dovevano tornare sulla terra nemmeno per deporre le uova, ma partorivano addirittura figli vivi. Come faccio a saperlo? Semplicissimo: sono state trovate alcune femmine fossilizzate in stato interessante: esse avevano nell'interno del corpo lo scheletro di un altro piccolo ittiosauro.

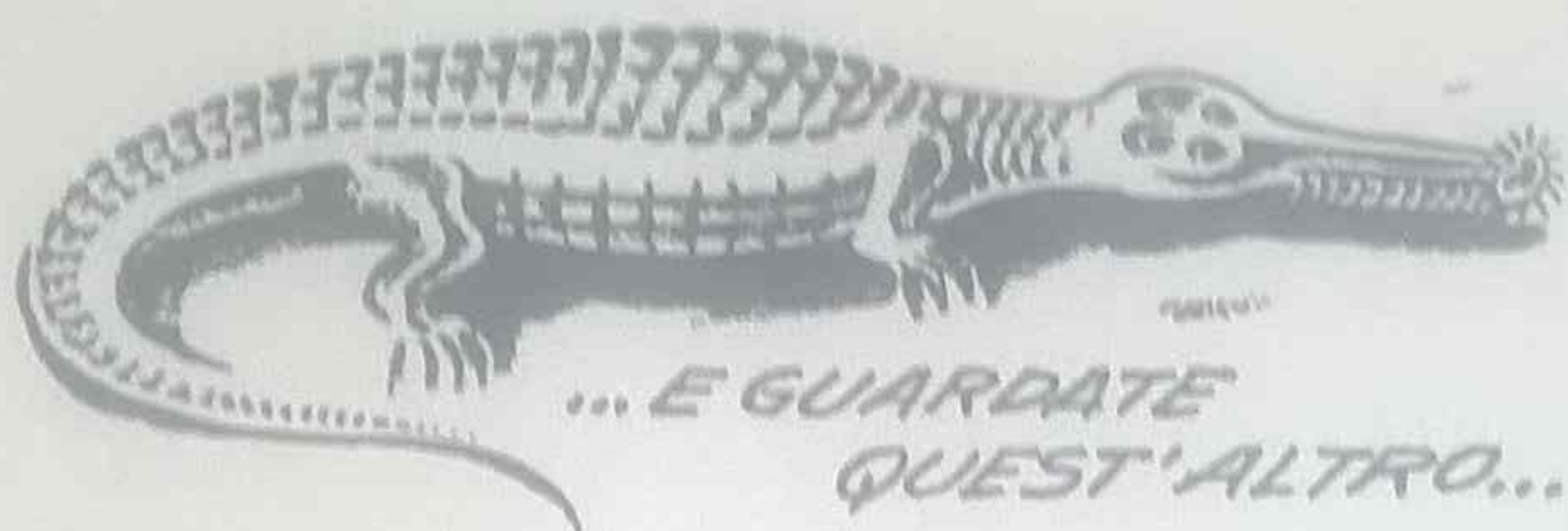
Gli ittiosauri si spostano nuotando, come i veri pesci, con la loro robusta coda; i *plesiosauri,* invece (eccone qui uno), vanno qua e là remando con quei loro arti fatti a forma di pala: capo piccolo, collo di cigno lungo e sottile, tronco breve

SCHELETRO DI PLESIOSAURO

e svelto; un grazioso animaletto, vero? Sì, un grazioso animaletto, che raggiunge però, qualche volta, la lunghezza di sei metri.

Questo coccodrillo, invece, non è certamente un grazioso animaletto, con quella corazza irta e minacciosa! E guardate in quest' altro la sproporzione delle estremità anteriori così piccole; certamente questo signore riusciva soltanto a stento a camminare sulla terra, se pure qualche volta cercava di farlo. Egli non si accontentava di una poderosa corazza dorsale, ma aveva anche il ventre potentemente difeso.

...CON QUELLA CORAZZA COSI' IRTA...

Uno sguardo a quella testuggine dalla pelle coriacea e dalla forte corazza e proseguiamo la corsa, sempre con lo sguardo

rivolto al mare; vedremo poi che cosa accade frattanto dietro le nostre spalle, sulla terraferma, e anche cosa accade in aria: per ora vi dico soltanto che in entrambi i luoghi accadono cose piuttosto mostruose.

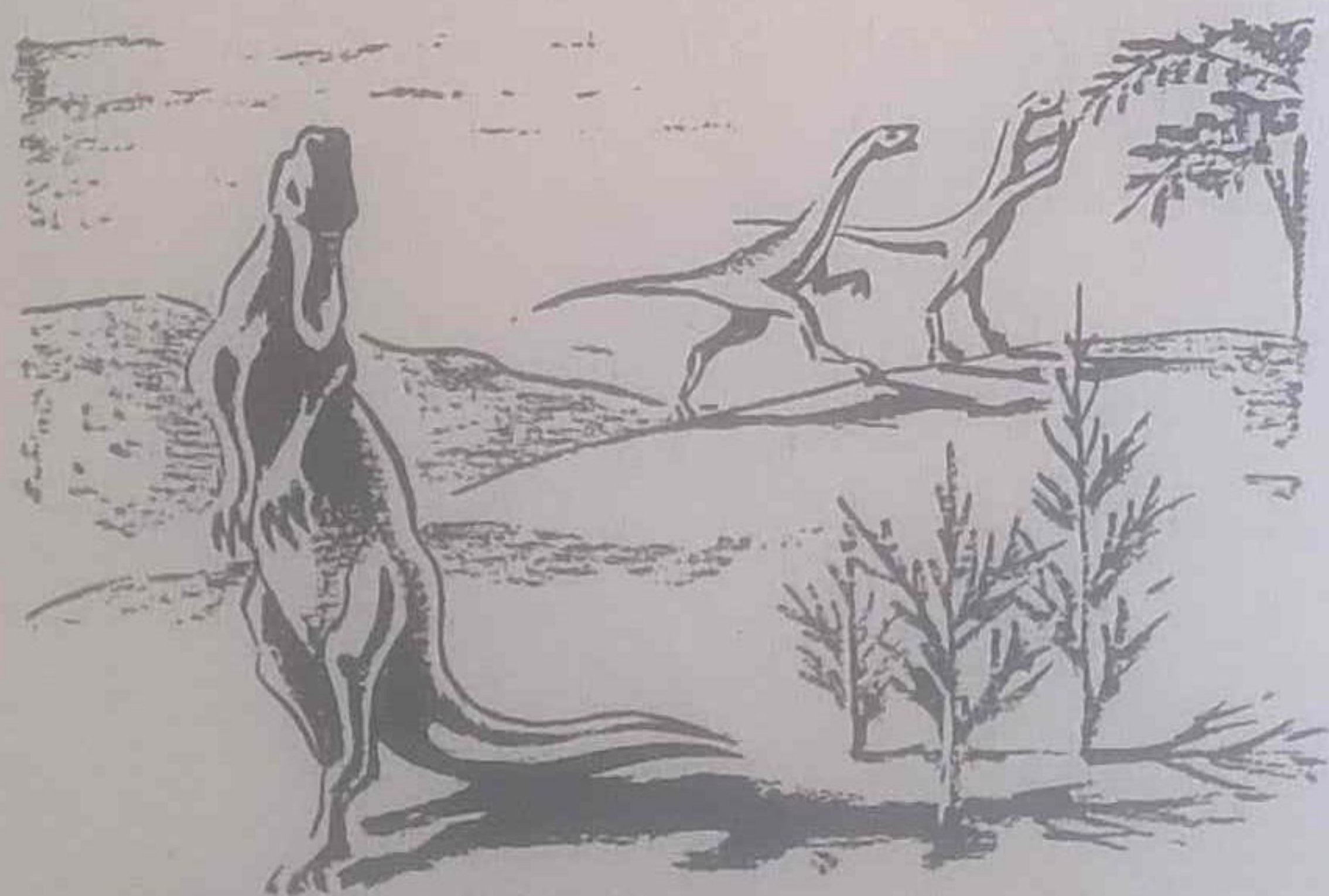
Dunque, continuando a correre vediamo passare dinanzi ai nostri occhi ittiosauri, plesiosauri, coccodrilli... che nascono, combattono, si riproducono, muoiono; e i loro figli ancora combattono, divorano le prede, si riproducono...; è la vita animale che si svolge con le sue leggi eterne. Ma a un certo momento... Che cosa è? Un serpente di mare? Non lasciamoci trasportare dalla nostra fantasia la quale, forse a ragione, è in questo momento un po' sovraeccitata. Non nego che quell'affare lì, lungo quasi trenta metri, si avvicini forse più di qualsiasi altra creatura alla forma fantastica dei serpenti marini; ma si tratta ancora di un rettile e precisamente di un *monosauro*, un animale marino tipo coccodrillo, col corpo coperto di squame e di piastre disposte in corazza; ma, questi animali sono straordinariamente allungati e svelti, con il capo relativamente piccolo e aguzzo, il tronco lungo e sottile e una coda lunga, lunga, lunga... Sembra proprio un serpente! E proprio come i serpenti esso può articolare la mandibola in modo da inghiottire prede più grandi della sua bocca.

Forse per questo o forse per qualche particolare caratteristica di velocità o di resistenza, il fatto è che noi assistiamo alla sua rapida ascesa al predominio: i coccodrilli marini non possono

sopravvivere, i plesiosauri diminuiscono di numero, gli ittiosauri decadono rapidamente e ben prima della fine del mesozoico tutta quella intensa vita giunge alla completa estinzione.

Ed ora facciamo dietro-front e guardiamo che cosa accade intanto sulla terraferma. C'è da arretrare terrorizzati!

Anche sulla terra i dominatori sono i rettili; e precisamente quei rettili che hanno il nome complessivo di *dinosauri*. La loro dominazione durò un centinaio di milioni di anni e poi anche essa ebbe termine: quale casa regnante può vantare un così lungo periodo di dominio?

Non si deve credere che questi dinosauri fossero tutti eguali; essi si dividevano in diversi sottordini i quali differivano l'uno dall'altro quanto una giraffa differisce da un topo o un elefante da un leone.

ALTRI CORRONO
SULLE GAMBE POSTERIORI...

I primi dinosauri che vediamo sono bipedi. Alcuni saltano come canguri, altri invece corrono sulle due gambe posteriori con la coda ben tesa all'indietro. Alcuni sono erbivori, altri sono carnivori e si nutrono dei loro amici vegetariani.

Ma questi vegetariani aumentano sempre più di dimensioni e cominciano, per questa ragione, a camminare a quattro zampe; vi è, per esempio, l'*atlantosauro* lungo 36 metri e alto in proporzione: più o meno una grande casa che si muove e si nutre di erba; ecco il *brontosauro* col corpo lungo circa 16

ECCO
IL BRONTOSAURO...

metri e con un immenso collo e una immensa coda; come se voi prendeste un elefante e, togliendogli il suo collo e la sua codina, gli applicaste il collo e la coda di un enorme serpente; nell'insieme una cosetta piuttosto ripugnante. Ed ecco ancora il *diplodoco* con una lunghissima coda fatta a frusta, la quale probabilmente gli serviva come arma di difesa.

IL DIPLODOCO

È molto poco probabile che questi enormi mostri portassero il loro corpaccio a spasso per pianure e vallate; probabilmente essi, per alleggerirsi un po', erano animali semi-acquatici, come l'ippopotamo dei nostri giorni, e vivevano nelle correnti d'acqua, nelle lagune e nelle paludi, usando il lungo collo per giungere a pascolare sugli argini e forse, come cigni gentili, sul fondo.

Questi erano gli animaletti contro cui dovevano combattere quei dinosauri i quali, per loro disgrazia, invece di nascere vegetariani, nascevano carnivori. Quindi, per necessità, man mano che aumentavano le dimensioni degli erbivori, aumentavano anche quelle dei carnivori; e le loro zampe anteriori, che in principio erano munite di artigli imperfetti che si ficcavano nel corpo della vittima, perdettero poco per volta queste armi ormai inutili in una lotta in cui l'enorme testa, con i suoi feroci denti, costituiva la sola arma che desse speranza di vittoria: e come rappresentante di questi feroci carnivori bipedi ecco il *tirannosauro* il cui ginocchio era circa ad altezza d'uomo e la cui testa dominava immensa dall'alto: un formidabile, enorme meccanismo di distruzione.

...IL CUI GINOCCHIO ERA AD ALTEZZA D'UOMO...

Corpo grande e cervello piccolo

La fantasia popolare continua ad immaginare l'uomo, disarmato e terrorizzato, impegnato in una lotta troppo impari con questi mostri; e lo vede — povero, piccolo uomo — barricarsi nelle caverne o girare in cerca di cibo con lo sguardo allucinato. Invece nulla di tutto ciò: la fantasia popolare commette in questo modo un piccolissimo anacronismo: essa sbaglia soltanto di almeno cinquanta milioni di anni. Per ora i mostri se la sbrigano soltanto tra loro: niente uomini terrorizzati e niente sguardi allucinati.

I giganti erbivori semi-acquatici raggiunsero le loro massime dimensioni prima dei loro parenti carnivori e cominciarono a diminuire di numero, soppiantati da altri dinosauri, altrettanto graziosi: eccoli.

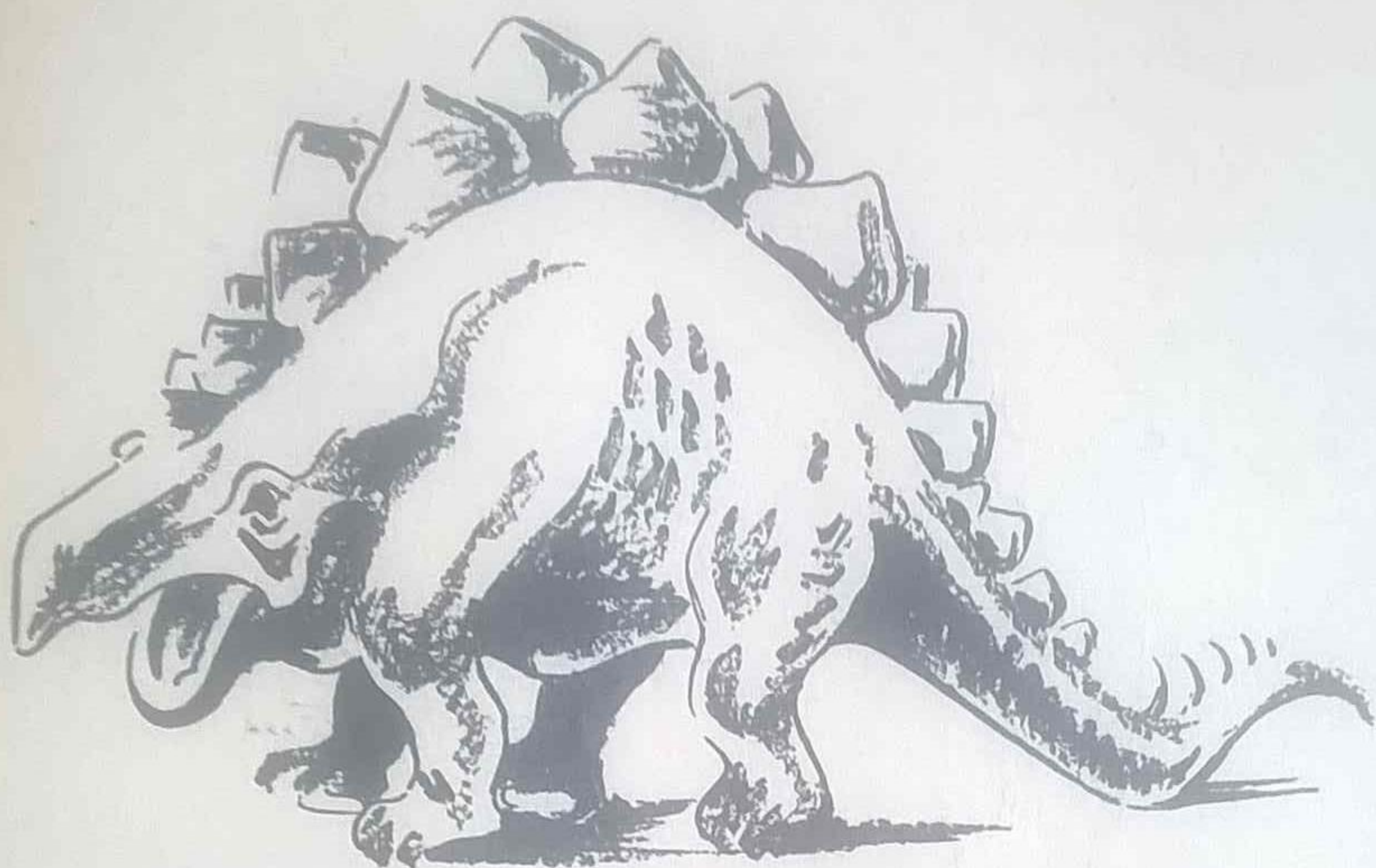
Nel costruire una galleria in una miniera presso Mons nel Belgio, si trovarono molte ossa fossili gigantesche. Si trattava di una banda di ventinove *iguanodonti* morti insieme ad alcuni coccodrilli e tartarughe, sommersi forse da un'improvvisa inondazione. Eccovi uno di questi scheletri; l'iguanodonte non camminava appoggiando sul suolo tutta la pianta del piede ma soltanto le tre dita delle estremità posteriori; la coda, che evidentemente serviva di sostegno al corpo, era molto sviluppata e robusta. La forma della mascella ci dice che quasi certa-

mente questi animali avevano una lunga lingua prensile come la nostra giraffa.

Ed ecco poi lo *stegosauro* il quale ha un tipo di corazza veramente stupefacente, in forma di piastre ossee appaiate e una coda armata di aculei o di piastre. La pianta dei suoi piedi posteriori aveva una lunghezza di un metro e 15 centimetri!

E come ultimo esemplare, un altro campione di bellezza; il *dinosauro cornuto*. Le sue ossa frontali portavano forti sporgenze ossee, le quali durante la vita erano probabilmente coperte di guaine cornee; le ossa nasali avevano anche esse una sporgenza ossea che sosteneva un corno e forse anche le mascelle erano rivestite nella parte anteriore di guaine cornee. L'aggettivo « cornuto » non gli è stato appropriato a torto.

Questo dinosauro cornuto era certamente il più intelligente dei dinosauri dato che esso, pur essendo più piccolo degli altri, aveva un cervello della stessa grandezza. Non bisogna però farsi troppe illusioni su questa intelligenza: mentre il cervello dell'uomo ha un peso che è circa la cinquantesima parte del peso del suo corpo, il cervello di uno di quegli enormi mostri come il

SCHELETRO
DI
IGUANODONTE

...IN FORMA DI PIASTRE OSSEE...

gigantosauro o il brontosauro, pesava circa la quarantacinque-millesima parte del peso del corpo.

La palma della stupidità spetta senza dubbio allo stegosauro — ricordate? quello dalle piastre ossee appaiate — il quale aveva un cervello tanto piccolo che i movimenti automatici della coda e delle gambe posteriori erano regolati da un ingrossamento della spina dorsale, ingrossamento che si trovava circa a metà corpo.

La memoria ed il pensiero non erano certamente il forte dei terribili dinosauri.

I rettili volanti

E rivolgiamo ora il nostro sguardo in aria... Non è colpa mia, ma anche ciò che il nostro sguardo incontra ora, non appena si innalza verso il cielo, è un animale di una bruttezza che sfida qualsiasi immaginazione.

Naturalmente immaginerete che questo qualcuno che il nostro sguardo incontra guardando in alto, sia un uccello. Invece

non si tratta di un uccello ma — ahimè — si tratta ancora di un rettile: avevo pur detto che questa è l'età d'oro dei rettili; quindi rettili in tutte le salse.

Dunque quello che vediamo volare è un rettile volante, un *pterosauro;* capo grosso, forti mascelle armate di denti acuti, collo grosso ma tronco piccolo, sottile e nudo; coda straordinariamente lunga la quale porta all'estremità un'espansione fogliacea. Negli arti posteriori, che hanno cinque dita di cui uno più o meno rudimentale, nulla di notevole; ma gli anteriori... oh! questi sono invece notevolissimi: l'omero è breve e forte, l'avambraccio considerevolmente più lungo, il metacarpo molto sviluppato; ed ecco le dita di cui tre sono grandi ma normali e fornite di unghie; il quarto dito invece è lungo più del doppio del tronco (!!) e sostiene la membrana di volo che si distende fra esso e il corpo.

È qualche cosa di analogo a ciò che vediamo nel pipistrello, con la differenza che in questo la membrana del volo non è semplicemente distesa fra il corpo e un dito, ma tutte le dita della mano sono abbracciate dalla mem-

brana. Del tutto diversa è invece l'ala degli uccelli, anche se facciamo astrazione dalle penne; essa è diversa sia come struttura che come meccanismo.

Passa il tempo e a questi rettili volanti e codati succedono altri rettili ancora volanti ma non più codati, i quali poi, se da un lato danno luogo a graziosi rettili volanti non più grandi di un'allodola, dall'altro arricchiscono la fauna mesozoica di una delle più straordinarie creature che si siano mai viste: il *pteranodonte*, la cui apertura d'ali raggiunge gli otto metri. Questo animale singolare non ha denti e la sua porzione facciale porta un becco enorme, diritto e aguzzo; sopra e dietro la scatola cranica si trova poi una cresta ossea straordinariamente sviluppata, la quale è destinata ad equilibrare l'enorme becco. Probabilmente queste creature vivevano come gli albatros moderni, cercando nel mare aperto la loro preda, forse riposandosi sui flutti e tornando a terra soltanto per riprodursi.

Gli uccelli

E mentre siamo qui, sfiorati dalle membrane dei nudi pterosauri e, con lo sguardo rivolto in alto, siamo alla ricerca istintiva di qualche cosa di meno orribile, ecco, finalmente, un essere coperto di penne; penne... non c'è dubbio possibile: quello è un uccello, poichè le penne costituiscono la più immediata caratteristica degli uccelli. Ecco il primo uccello a noi noto: l'*archaeopterix*.

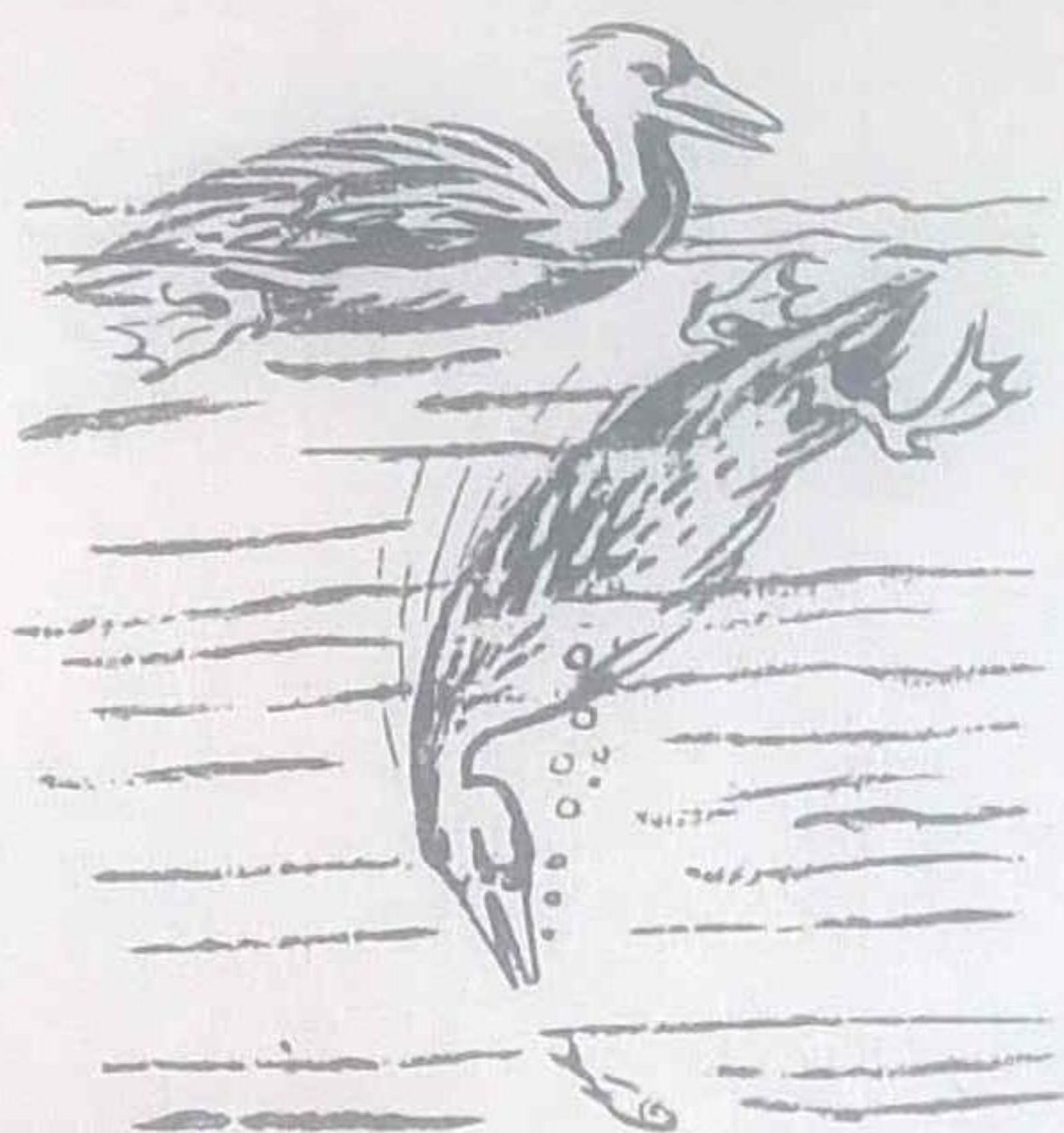
Se guardiamo con un po' di attenzione, ci accorgiamo che si tratta di un uccello un po' strano, con piccoli denti aguzzi e una strana coda formata da circa venti vertebre ognuna delle quali porta due lunghe penne; inoltre le dita degli arti anteriori

L'ARCHAEOPTERIX

non sono fuse insieme come negli uccelli, ma le tre dita rimangono libere e indipendenti e sono tutte, anche il pollice, fornite di grandi unghie. Probabilmente questo animale non soltanto era adatto al volo, ma poteva anche arrampicarsi sugli alberi, sulle pareti delle rocce, ecc.

Ma prima di vedere se, continuando la nostra corsa, vediamo apparire all'orizzonte qualche altro uccello, voglio mettere in chiaro una cosa. Quando abbiamo visto un pterosauro, mi sono affrettato a dire: badate bene, non è un uccello, ma un rettile

volante; ed evidentemente avevo ragione perchè i pterosauri non hanno penne. Ora, anche gli uccelli discendono dai rettili e precisamente sono rettili che si sono specializzati per la vita aerea; ma essi non hanno nulla a che fare con i pterosauri. E allora? Rettili questi e discendenti dai rettili anche quelli? Sì; per quel che riguarda la vita aerea i rettili hanno dato luogo da una parte ai nudi pterosauri e dall'altra agli uccelli, forniti di penne; sono due rami ben distinti di uno stesso tronco.

Ciò chiarito, ecco un altro uccello che, dopo qualche tempo, vediamo apparire all'orizzonte: l' *Hesperornis*; non è proprio un uccellino perchè è alto quasi un metro. Ha i piedi robusti perfettamente adatti alla locomozione nell'acqua, una coda remiforme, simile a quella del castoro e i denti piantati in un solco comune.

...E' ALTO QUASI UN METRO....

Però non vorrei avervi tratto in inganno con la mia frase: « apparire all'orizzonte »; parlavo in senso figurato perchè questo Hesperornis non giunge a noi volando per la semplice ragione che non ha ali; esso però ha penne, è un uccello. Del resto molto probabilmente la maggior parte dei primi uccelli non volava affatto: erano, per così dire, uccelli prima del volo. Ma una volta che si erano sviluppate le penne, l'apparizione delle ali era soltanto una questione di tempo.

Un triste destino dovuto a qualche tubo. Gli insetti

È più che naturale che durante questa parte così terrificante del nostro viaggio, la nostra attenzione sia stata sempre intensamente concentrata sulle mostruose creature che ci circondano

nuotando, strisciando, saltando, volando. Ma facciamo ora un piccolo sforzo e distogliamo da esse il nostro sguardo; guardiamo in terra e guardiamo tra le piante. Fino ad ora abbiamo osservato i giganti del mondo mesozoico; ora osserviamone i nani: gli insetti.

Prima di tutto vediamo scantonare qua e là un certo numero di blattime, che è come dire bestie affini ai nostri scarafaggi. Ma ben presto a queste si aggiungono le cimici e poi le cavallette e splendide libellule, di cui vi prego di ammirare le delicate venature delle ali, e api e grandi cicale. E se le blattime sgattaiolavano tra felci e conifere, già le libellule svolazzano tra querce, faggi, salici e magnolie e aceri e noci...

...LE DELICATE VENATURE DELLE ALI...

Libellule, api, cicale... e magnolie, faggi, noci...: uno scenario moderno; ma non dimentichiamo che in questo scenario i brontosauri lottavano, i tirannosauri si lanciavano sulla preda e i pterosauri li sfioravano con le loro membrane.

Se ricordate, io, che sono un vertebrato, ho scritto poco fa che il periodo mesozoico è l'età d'oro di quei vertebrati che si chiamano rettili. Supponete ora per un momento che io sia un insetto; no, per favore, non una blattima ma almeno una libellula. Dunque io, insetto, potrei dire: « Affermare che il mesozoico sia l'età d'oro dei rettili è una pura parzialità; io dico invece che essa è stata l'età d'oro degli insetti, dato che questi, sia per abbondanza sia per varietà, si trovavano sullo stesso piano dei rettili ».

Ebbene; io, libellula, avrei torto. È bensì vero che per ab-

bondanza e varietà gli insetti potevano competere con i rettili ma esistono tra i due tali differenze che gli insetti sono, senza speranza, relegati al secondo posto. Principale tra queste: nessun insetto può superare dimensioni che — diciamolo pure, ora che non sono più libellula — sono molto, molto modeste.

Perchè gli insetti sono tutti così piccoli? Perchè non si trovano insetti grandi, non dico come un elefante, ma nemmeno come un gattino? La ragione è un pochino strana; è semplicemente una questione di modo di respirare. E qui è necessaria una piccola parentesi.

Qualcuno immaginerà forse che gli insetti posseggano, per respirare, due minuscoli polmoni; invece non è vero. Essi non usano il loro sangue per trasportare l'ossigeno ai tessuti sempre affamati di questo gas; essi lo portano direttamente per mezzo di trachee; hanno cioè una « respirazione tracheale ». Queste trachee sono tubi che si ramificano innumerevoli volte e penetrano in tutti i tessuti. I tubi più grossi si aprono all'esterno (fra i segmenti dell'addome e del torace) per mezzo di aperture provviste di apparecchi più o meno complicati che servono a filtrare l'aria; invece gli esilissimi ramuscoli terminali si insinuano fra tutti gli organi, penetrano nei tessuti, qualche volta perfino nelle cellule, e vi iniettano l'aria.

Questo è veramente un modo di respirare ammirevole... fin quando però l'animale è molto piccolo. Ma non appena un insetto supera un certo limite di grandezza, si trova in difficoltà per ciò che riguarda la respirazione: perchè l'ossigeno deve passare ai tessuti per diffusione lungo i rami più stretti delle trachee; e, allo stesso modo, il biossido di carbonio deve essere portato via dai tessuti; e la diffusione è un movimento molto lento se lo confrontiamo con l'impeto del sangue che scorre nelle arterie e nelle vene dei vertebrati.

Perciò questo stesso dispositivo di tubi che rende possibile la vita di un'ape industriosa e di una attivissima formica, fallirebbe completamente se fosse installato in una creatura che raggiungesse soltanto il modesto peso di un mezzo chilo.

Dalla loro costituzione gli insetti sono condannati a non potere superare una certa dimensione che è molto piccola. I vertebrati invece, grazie ai polmoni e al loro scheletro robusto, pos-

sono crescere e raggiungere dimensioni enormi: come del resto ci è stato ampiamente dimostrato dai vari brontosauri, gigantosauri, ecc. che abbiamo conosciuto poco fa.

Essere destinati a restare piccoli piccoli è veramente una grande seccatura; e non soltanto nella lotta, per così dire, materiale; ma anche perchè piccolo corpo vuol dire, in pratica, nessuna possibilità di sviluppo intellettuale.

Ecco perchè gli insetti, a causa della loro respirazione tracheale, erano, fin dall'inizio, relegati senza speranza al secondo posto. E quando, dopo la fine del mesozoico, gli insetti erano già praticamente alla fine del loro ciclo evolutivo, i mammiferi erano in pieno, rigoglioso sviluppo; e l'uomo non era ancora apparso sulla scena del mondo.

Una pausa piena di mistero

Riepilogando, possiamo dire che l'èra mesozoica è tutta una spaventosa storia di rettili pullulanti e proliferanti. E fino alle ultime pagine di questo capitolo del libro della Terra continuiamo a vedere tutti questi rettili fiorenti e vitali, senza trovare traccia di nessun nemico o competitore degno di essi.

Ma a un tratto il capitolo si tronca; può darsi che si siano perdute molte pagine, pagine che forse rappresentano qualche grande cambiamento delle condizioni terrestri. E quando il racconto ricomincia, troviamo bensì tracce abbondanti di piante e di animali terrestri, ma di quei rettili nessun indizio: essi semplicemente sono spariti.

Anzi, per la maggior parte, non hanno nemmeno lasciato discendenti; è proprio come se qualcuno li avesse cancellati dalla faccia della Terra. I pterodattili, i plesiosauri, gli ittiosauri, la moltitudine dei dinosauri... tutto è sparito; rimane qualche avanzo delle lucertole e soltanto i coccodrilli, le testuggini e le tartarughe continuano ad apparire in una certa quantità.

Nell'èra seguente, cioè nel cenozoico, ci troveremo in un

TAVOLA XII

Formazioni coralline sul fondo marino.

mondo abitato da altri animali i quali non sono affatto parenti stretti dei rettili del mesozoico. Un nuovo tipo di vita domina il mondo.

Questa brutale fine dei rettili è forse la rivoluzione più sorprendente della storia della Terra. E poichè la vita mesozoica era una vita adatta al caldo e poco resistente al freddo e d'altra parte la nuova vita è essenzialmente una vita capace di resistere a grandi variazioni di temperatura, non è poi molto strano pensare che in quelle pagine disperse si potrebbe probabilmente leggere la fine di un lungo periodo di caldo e l'avvento di un nuovo periodo in cui il freddo invernale era più tagliente e le estati brevi ed ardenti.

Quale è stata la causa di questa rivoluzione delle condizioni terrestri? Mistero, oscurissimo mistero.

E dinanzi a questo mistero finisce la tappa « mesozoica » di questa nostra strana corsa nel tempo; una tappa di 130 milioni di anni.

L'èra cenozoica

Dalla mandibola all'orecchio

Un ultimo sforzo ed abbiamo finito: ci resta soltanto da superare l'ultima tappa di 60 milioni di anni: una vera sciocchezza! Lo scenario in cui ci troviamo è perfettamente moderno: betulle, faggi, agrifogli, palme...e fiori, fiori... Questa Terra che un giorno era soltanto un deserto pietroso è ora finalmente rallegrata dalla infinita gamma di colori dei fiori; è quale noi oggi la conosciamo.

Però questo scenario è piuttosto irrequieto: durante la corsa assistiamo a un gigantesco corrugarsi della crosta terrestre e a un progressivo sollevarsi di imponenti catene di montagne. Vediamo formarsi le Ande, le Alpi, l'Himalaya: come ho promesso, racconterò poi quale si crede sia stato il meccanismo di questi corrugamenti i quali erano accompagnati da eruzioni di vulcani e da qualche terremoto. Nell'insieme mi sembra di aver avuto ragione quando ho detto che quel colorato scenario era piuttosto irrequieto.

Abbiamo battezzato il mesozoico « l'età d'oro dei rettili »; possiamo chiamare il cenozoico « l'età dei mammiferi ».

Erano esistiti mammiferi nell'èra mesozoica? Immagino che a voi piacciano le risposte categoriche: un sì oppure un no. Ebbene, se con questa domanda intendete chiedermi se esistono fossili di animali sicuramente mammiferi appartenenti al mesozoico, devo rispondervi « no ». Però...

Se quando abbiamo cominciato la nostra corsa terrestre del periodo mesozoico, non fossimo rimasti tanto terrorizzati dalla presenza dei mostruosi dinosauri e ci fossimo guardati intorno con più calma, ci saremmo accorti della presenza di altri rettili molto meno appariscenti dei dinosauri ma forse, per noi, più interessanti: i *teromorfi*. È innegabile che questi rettili ricordino vivamente i mammiferi: prima di tutto i loro denti già cominciano chiaramente a suddividersi in incisivi, canini, premolari e molari, e questo non è poco. Inoltre, col passare del tempo, la struttura delle loro mascelle e dell'orecchio va sempre più avvicinandosi a quella dei mammiferi. Una delle differenze più importanti tra i mammiferi oggi viventi e gli altri vertebrati, è che la loro mascella inferiore è costituita da entrambe le parti di un unico osso, invece di diversi ossi riuniti insieme, come accade negli altri vertebrati; e che nel loro orecchio medio vi sono tre piccoli ossicini i quali servono a trasmettere le vibrazioni del timpano al liquido che riempie l'orecchio interno, mentre negli altri vertebrati terrestri esiste nell'orecchio medio un solo ossicino. In poche parole, nei mammiferi abbiamo un unico osso mandibolare e tre ossicini nell'orecchio medio; negli altri vertebrati viceversa diversi ossi nella mandibola e un unico ossicino nell'orecchio medio.

Ebbene, molto probabilmente i due ossicini in più dell'orecchio medio dei mammiferi (e precisamente l'incudine e il martello) corrispondono a due ossi della mandibola degli altri vertebrati; ed anzi anche l'osso del timpano corrisponde probabilmente a un altro osso di quella tanto ricca mandibola.

Ora, mentre nei fossili dei più antichi teromorfi la disposizione delle ossa del cranio è perfettamente analoga a quella degli altri rettili (quindi diversi ossi nella mandibola e un ossicino nell'orecchio medio) ci accorgiamo che, man mano che

veniamo innanzi nel tempo, due ossi della mandibola gradualmente si sottraggono al loro dovere, diventano più piccoli... ed ecco che li troviamo nella regione dell'orecchio. Nel frattempo il futuro osso timpanico subisce una analoga trasformazione.

Da tutto ciò si può concludere che i teromorfi erano ancora rettili, ma rettili i quali stavano forse per ascendere a uno stato più alto della società biologica. Essi sono ancora rettili, ma sarebbe molto strano che non fossero anche i precursori dei mammiferi.

Altro che una breve risposta categorica! Quel mio « però » si è trasformato in una ben lunga chiacchierata.

Diversi fatti nuovi

Dunque sembra che i primi mammiferi siano in relazione con quei terodonti. Ma degli eventuali mammiferi del mesozoico si sa ben poco: sembra però che essi fossero piccole bestie, non più grandi di un topo, piuttosto un ordine molto disprezzato di rettili che una classe distinta; e lentamente essi andavano sviluppando la loro caratteristica copertura di peli, forse perchè, a causa dei terribili dinosauri carnivori, erano costretti a vivere sulle alture più fredde e desolate: i peli li proteggevano dal freddo.

E forse a questi peli i primi mammiferi devono la loro salvezza; perchè quando, alla fine del mesozoico, la nostra Terra attraversò quel periodo così misterioso per noi e così fatale per i rettili — ricordate? — quel brutto periodo in cui dal caldo si passò purtroppo al freddo, quei piccoli e disprezzati mammiferi, con la loro copertura di peli, si trovarono in condizione di vantaggio rispetto ai rettili che, pur essendo i dominatori del mondo, erano, a causa della loro nudità, molto più esposti ai rigori del freddo. E la maggior parte dei rettili soccombette mentre i primi mammiferi sopravvissero e presero possesso di quel mondo ormai spopolato.

Probabilmente dunque i mammiferi si salvarono per quei peli. Rispetto ai rettili però essi presentano altre nuove carat-

teristiche. Prima di tutto per riprodursi non depongono uova: questa dell'uovo è proprio una questione molto importante nella storia della vita.

Ed ora potremmo chiederci: per quale ragione questi esseri viventi sono giunti a questo nuovo sistema di riproduzione? Credo che mai nessuno potrà dare una risposta sicura a questa domanda; ad essa si può rispondere soltanto con dei « forse ». *Forse* è stato un mezzo per difendere la futura prole dagli innumerevoli nemici; senz'altro un piccolo che si trovasse nel corpo della madre era ben più al sicuro di quanto non lo fosse un uovo abbandonato qua o là. Oppure, *forse*, questo è stato, come il pelo, un altro mezzo di difesa contro il freddo: evidentemente un povero uovo non aveva nessun mezzo per proteggersi dai micidiali cambiamenti di temperatura, mentre il piccolo, nel corpo della madre, trascorreva ben al calduccio il primo stadio della sua vita.

A sostegno di questa seconda ipotesi, si può fare una osservazione: anche gli uccelli riuscirono a superare quel misterioso periodo di interregno tra il mesozoico e il cenozoico. Ebbene, come si riproducono gli uccelli? Essi depongono bensì le uova, come fanno i rettili, ma poi le covano: e covare le uova vuol dire proprio mantenerle al caldo. Perciò forse non è ingiustificato pensare che gli uccelli e i mammiferi siano riusciti vincitori nella lotta contro il freddo per merito dei loro sistemi di riproduzione: gli uni covando le loro uova e gli altri, più semplicemente, non deponendole affatto.

Ma oltre a tutto ciò, noi, con i mammiferi, ci troviamo dinanzi a un fatto del tutto nuovo: vediamo stabilirsi nel mondo la continuità della esperienza; mi spiego subito. Dopo aver deposto l'uovo, la mamma rettile gli volgeva le spalle e se ne andava tranquillamente abbandonandolo a se stesso. E, alla sua nascita, il piccolo rettile doveva crearsi tutta la sua esperienza: la ricerca e la scelta del cibo, le bestie amiche e le bestie nemiche... aveva il suo daffare, povero, piccolo rettile!

Che cosa fa, invece, la mamma mammifera? Essa non abbandona subito il suo piccolo, ma lo protegge per un certo tempo e gli trasmette parte della propria esperienza: come trovare il cibo, quali sono i nemici e come difendersene; e a questo scopo

tutto serve: l'esempio, un brontolio, una zampata. Si stabilisce così la continuità dell'esperienza.

Fino allora un essere vivente era stato un piccolo mondo di esperienza chiuso in se stesso; ma ora ogni animale riceve qualche cosa da sua madre e la trasmette ai propri discendenti.

I mammiferi arcaici

La mamma mammifera si tiene ben protetto il suo piccolo prima della nascita: o se lo tiene abbastanza a lungo perchè quando lo darà alla luce esso sia già pronto a camminare, a mangiare, insomma a vivere, oppure mette al mondo un essere ancora immaturo, il quale però non viene abbandonato, ma è accolto in una specie di tasca (che si chiama marsupio) entro cui sboccano le mammelle: il piccolo si attacca, succhia e continua a svilupparsi; questi mammiferi si chiamano *marsupiali*.

Per passare dalla semplice deposizione dell'uovo al marsupio, il passo, evidentemente, era più breve che non per passare dall'uovo agli altri mammiferi: e in realtà vi sono seri fondamenti per credere che i marsupiali siano stati i primi a dare, per così dire, il via e che per un certo tempo essi siano stati praticamente gli unici campioni di mammiferi. Gli scienziati aspettano con fiducia che, in un giorno fortunato, qualche fossile venga a deporre in favore delle loro sudatissime ipotesi.

Ma riprendiamo la corsa. Eccoci già tra un numero abbastanza cospicuo di mammiferi dei quali alcuni sono differenziati in un senso ed alcuni in un altro.

Ecco, tra i primi ungulati, i piccoli *condilartri*, erbivori, e gli *amblipodi*, più grandi; e tra gli unguiculati... Ma prima di tutto... che differenza c'è tra ungulati e unguiculati? Gli ungulati sono mammiferi con dita fornite di zoccolo (in senso largo) e gli unguiculati invece sono mammiferi con dita fornite di artigli o di unghie; per esempio, tra gli animali moderni il cavallo, il rinoceronte, il tapiro, i suini, i ruminanti, gli ele-

fanti... portano zoccolo, cioè sono ungulati, mentre gli insettivori, i pipistrelli, i carnivori, le scimmie e l'uomo hanno artigli o unghie e perciò sono unguiculati. Dunque, tra gli ungulati abbiamo incontrato i piccoli condilartri e gli amblipodi: tra gli unguiculati ecco gli *insettivori* che, in verità, non sono poi molto diversi da quelli moderni ed ecco i primi carnivori, i *creodonti*.

Veloce scorre il tempo accanto a noi e i condilartri corrono sempre più rapidi e continuano a rosicchiare radici tenere e germogli, mentre gli amblipodi diventano enormi e goffi. E per poter lottare con successo contro le sempre più sviluppate armi di difesa, contro questa velocità e questa mole delle loro prede, gli unguiculati carnivori si specializzano sempre più. Così tra questi carnivori che, se ricordate, abbiamo battezzato creodonti, troviamo creature che somigliano più o meno a cani, a lupi, a iene, a martore, a gatti (costruiti in verità con molta pesantezza) e a orsi, precursori ma non effettivi progenitori dei paralleli tipi moderni.

Tutti questi mammiferi, erbivori e carnivori, ungulati e unguiculati, sono i *mammiferi arcaici*.

Ma ecco che incontriamo una nuova serie di forme, ecco che, per la prima volta, ci troviamo alla presenza dei principali gruppi di *mammiferi moderni*: rosicanti, ungulati moderni, sdentati e i primi lemuri, animali molto simili alle scimmie.

Come era da aspettarsi assistiamo allora alla lotta tra quei mammiferi arcaici e questa nuova serie di forme. E c'era da aspettarselo, perchè, purtroppo, *nihil sub sole novi*.

Gli ungulati

E gli arcaici hanno la peggio; ben presto scocca l'ultima ora dei condilartri e degli amblipodi; ma — ultimi sprazzi prima della fine — essi raggiungono, prima di estinguersi, grandi dimensioni e un fantastico sviluppo di corna e di zanne. Ma tutto questo apparato difensivo non fu sufficiente a preservarli dalla

distruzione, perchè mancava loro un adeguato centro direttivo: il loro corpo, le loro corna e le loro zanne si svilupparono, ma il loro cervello restò sempre lo stesso. Si trovarono nelle condizioni di una nazione che abbia l'esercito potente ma il governo incapace; essa potrà resistere per un certo tempo, ma poi avrà fatalmente la peggio. Che gli uomini meditino profondamente sul triste fato dei condilartri e degli amblipodi!

Questa èra cenozoica, questa età dei fiori e dei mammiferi, è anche l'età dello sviluppo del cervello. Se confrontiamo un mammifero cenozoico con un mammifero moderno che abbia più o meno le stesse dimensioni e le stesse abitudini, vediamo che il suo cervello è molto più piccolo: per esempio il *titanoterio*, che era un animale simile al nostro rinoceronte, aveva un cervello che era circa un decimo del cervello di un rinoceronte moderno. Non voglio certo dirvi che oggi un rinoceronte sia un campione di intelligenza, ma comunque esso è dieci volte più osservatore e più atto a imparare di quanto non lo fosse quell'antico titanoterio.

Tutti i mammiferi del cenozoico erano inconsciamente intenti ad assolvere uno stesso compito: accrescere il proprio cervello.

Ma lasciamo ora il cervello e torniamo ai piedi. Gli *ungulati*, successori dei condilartri e degli amblipodi, si dividono ben presto in due gruppi: i paradigitati e gli imparadigitati. Un momento: penserete certamente che i paradigitati siano ungulati con un numero pari di dita e gli imparadigitati siano quelli forniti di un numero dispari di dita; invece, mi dispiace dirvelo, il vostro intuito vi ha tratto in inganno, come vi persuaderete subito non appena vi dirò che il tapiro, che è un tipico imparadigitato, ha nel piede anteriore quattro dita. E allora? I paradigitati e gli imparadigitati si distinguono bensì per la struttura del piede, ma questa non è caratterizzata dal numero delle dita, ma dalla qualità delle dita che sostengono il peso del corpo. E precisamente negli imparadigitati l'asse del corpo passa per il dito medio (cioè il terzo), il quale diventa così il principale sostegno del corpo e si ingrandisce a spese delle altre dita: negli imparadigitati a piede fortemente ridotto (equidi) questo terzo dito persiste da solo dopo la scomparsa

— o quasi — di tutte le altre dita. Nei paradigitati, invece, l'asse del corpo passa fra il terzo e il quarto dito, che si distribuiscono egualmente il compito di portare il corpo; non è quindi possibile, in questo caso, una riduzione maggiore di quella che si trova nei ruminanti con due dita.

Dunque i nuovi ungulati si dividono nei due gruppi: paradigitati e imparadigitati. Per primi cominciano gli imparadigitati, il cui ramo principale è costituito dai cavalli. E qui potrei raccontarvi l'interessantissima storia dei cavalli: potrei raccontarvi come essi lentamente vanno trasformando la struttura dei loro denti per adattarsi sempre più al cibo che offre loro l'ambiente, e la struttura delle loro estremità per raggiungere velocità sempre maggiori; come le quattro dita che i loro antichissimi antenati possedevano nelle zampe anteriori e le tre delle zampe posteriori, vanno man mano riducendosi di numero finchè ecco il nostro cavallo il cui piede è formato da un unico dito molto ingrossato e fornito di zoccolo; potrei raccontarvi come i loro denti diventano sempre più grandi e adatti a... macinare; come il loro collo diventa più lungo perchè l'animale possa raggiungere il suolo con la bocca malgrado la maggiore lunghezza delle gambe... Potrei raccontarvi tutte queste interessantissime cose, ma mi guardo bene dal lasciarmi trascinare dal mio entusiasmo e rimando questo racconto a più tardi.

I tapiri e i rinoceronti sono gli unici altri rami oggi superstiti degli imparadigitati ed entrambi si vanno estinguendo. Essi ci accompagnano per quest'ultima parte del nostro viaggio, mentre vediamo prosperare e poi estinguersi numerosi altri rami tra i quali i *calicoteri*, che avevano il cranio analogo a quello del cavallo, ma lunghi artigli retrattili come quelli dei gatti: tre per ogni piede. Probabilmente essi erano abitanti delle steppe e usavano i loro artigli per scavarsi succulente radici.

E incontriamo poi i paradigitati ed assistiamo al loro sempre crescente predominio; essi sono gli erbivori dominanti del mondo moderno: suini, ippopotami e ruminanti.

Vecchi amici carnivori

Ed ora ai carnivori. Ricordate quei carnivori arcaici che abbiamo chiamato creodonti? Già abbiamo assistito alla loro estinzione; questa estinzione non fu però completa. Ad essa sfuggì una sola famiglia che era particolarmente adatta alla lotta per l'esistenza; non che i componenti di questa famiglia fossero più grandi o possedessero un maggior numero di corna o zanne più robuste o artigli più aguzzi; semplicemente avevano un cervello più grande.

E col passar del tempo vediamo che in seno a questa famiglia si ripetono quelle stesse differenziazioni che avevano avuto luogo nel gruppo originario dei creodonti: ed ecco gli orsi e i tassi, i cani e i lupi, le donnole e le martore e le lontre, gli zibetti e le manguste, le foche e i trichechi, le iene e i gatti grandi e piccoli.

Tutti questi nomi ci sono ben noti; siamo ora, parlando in senso largo, tra vecchi amici.

L'èra neozoica

Glaciazioni

Così tra fiori e mammiferi vari abbiamo già percorso tutta l'èra cenozoica e siamo ora nel neozoico; mancano circa 550 mila anni alla fine. E in questi anni assisteremo a due importantissimi eventi: il sopraggiungere dell'epoca glaciale e la comparsa dell'uomo.

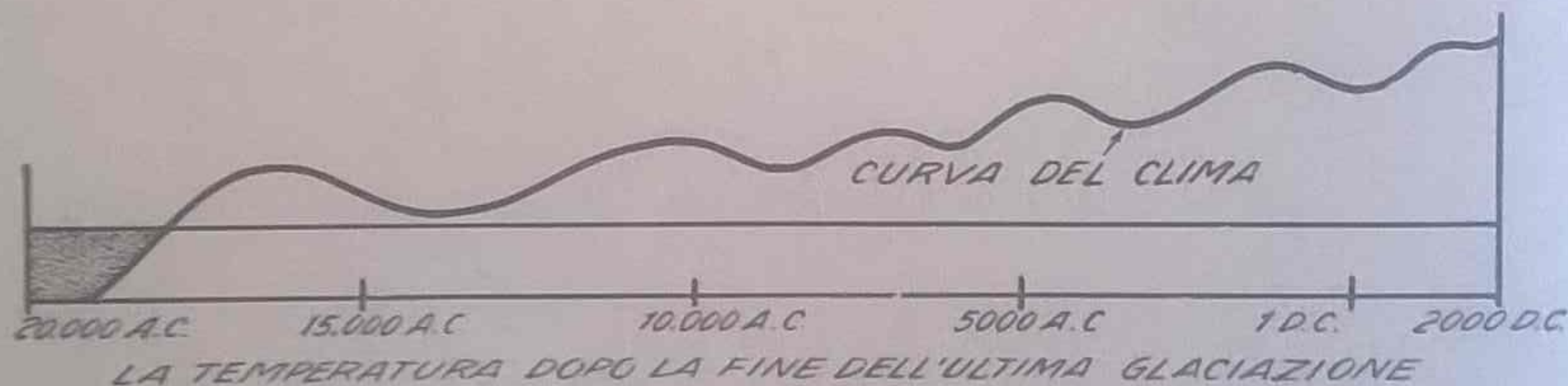
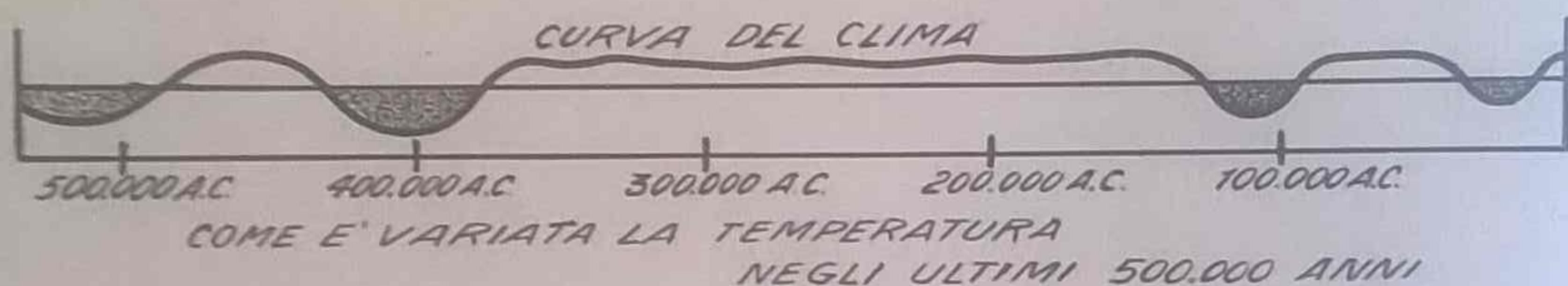
Siamo arrivati, dunque, tra tante avventure, a circa cinquecentocinquantamila anni fa, quando vediamo che il ghiaccio polare comincia ad estendersi verso l'equatore: ha inizio la grande epoca glaciale.

Non si deve pensare che questa epoca glaciale sia stata una unica grande ondata di freddo che per un lunghissimo periodo abbia avvolto la Terra in un candido e gelido mantello di ghiaccio. Sembra ormai sicuro che vi sono state due glaciazioni principali, separate da un lungo periodo interglaciale durante il quale il clima era, più o meno, quale è oggi; la prima

di queste due glaciazioni è stata però più... glaciale della seconda. A sua volta poi ognuna di esse è costituita da due glaciazioni separate da un breve periodo più caldo o, come si dice, da una intermissione.

Cinquecentomila anni sono un periodo di tempo meno che trascurabile nella lunga storia della Terra; eppure in questo brevissimo tempo, per ben quattro volte i ghiacciai hanno avanzato e poi hanno retrocesso e per ben quattro volte la vita degli esseri viventi ha dovuto superare un triste periodo di squallore e di freddo.

CURVA DEL CLIMA
500.000 A.C. 400.000 A.C. 300.000 A.C. 200.000 A.C. 100.000 A.C.
COME E' VARIATA LA TEMPERATURA
NEGLI ULTIMI 500.000 ANNI

CURVA DEL CLIMA
20.000 A.C. 15.000 A.C 10.000 A.C 5000 A.C 1 D.C. 2000 D.C.
LA TEMPERATURA DOPO LA FINE DELL'ULTIMA GLACIAZIONE

Ecco un disegno che, spero, renderà un po' più chiaro quanto vi ho detto: la seconda figura mostra un po' più in dettaglio l'andamento del clima dopo la fine dell'ultima glaciazione; speriamo che voglia continuare su questa buona strada.

La data dell'inizio della prima glaciazione è piuttosto ipotetica; purtroppo nello sconvolto libro della Terra, sul quale tanti studiosi si sono chinati trascorrendo anni a decifrare, a controllare, a mettere insieme, non si trovano impresse date ben chiare; è un lungo lavoro di ipotesi e di controlli. Ma se la data dell'inizio della prima glaciazione è ipotetica, le altre sono quasi sicure: più ci si avvicina alla fine, più la lettura diventa agevole e piana.

I ghiacciai terrestri coprono oggi un'area di 15,6 milioni

di chilometri quadrati e hanno un volume di circa 22,5 milioni di chilometri cubici. Ma nelle epoche glaciali l'espansione dei ghiacciai era enormemente maggiore; nell'epoca glaciale del neozoico, le glaciazioni si estesero fino a 50 milioni di chilometri quadrati con un volume di 60 milioni di chilometri cubici. L'acqua necessaria a questo enorme volume di ghiaccio fu sottratta, naturalmente, all'unica grande sorgente disponibile: cioè al mare, il cui livello si abbassò di un centinaio di metri. (Se i ghiacciai oggi esistenti sulla Terra si sciogliessero del tutto, il livello del mare salirebbe ancora di 50 metri.)

Quali sono le cause delle glaciazioni? Domanda ardua e finora senza risposta sicura. Il geofisico Milutin Milankovich con calcoli lunghi e laboriosi ha costruito (nel 1941) una curva la quale mostra come ha variato nel neozoico l'insolazione di un luogo terrestre [1] in conseguenza dei tre fenomeni: precessione degli equinozi (che ha un periodo di circa 21.000 anni), variazione dell'eccentricità dell'orbita terrestre (periodo di circa 91.800 anni) e variazione dell'inclinazione dell'asse terrestre sul piano dell'eclittica (periodo di circa 40.000 anni). Non si può negare che la corrispondenza tra la curva così ottenuta e la curva che si può disegnare utilizzando i dati della lettura degli strati è veramente suggestiva; ma, malgrado ciò, si ritiene oggi che la causa delle glaciazioni non possa consistere soltanto nel concorso dei tre fattori a cui ho accennato; perchè se si fa un calcolo analogo anche per tempi antecedenti al neozoico, si trovano per la fine del cenozoico dei minimi di temperatura ai quali, invece, non ha fatto riscontro nessuna fase glaciale.

L'ipotesi più recente è stata suggerita dal geologo americano F. Flint (1947) il quale, invece di ritenere, come riteneva Milankovich, che la quantità *totale* del calore ricevuto dalla Terra in qualsiasi fase sia costante, ammette che essa sia soggetta a variazioni di intensità sia pur minime; l'ipotesi di Flint, che ha come base questa variazione della intensità della radiazione solare, associata ad altri fattori generali e particolari, può considerarsi oggi la più fondata.

[1] È stata definita « insolazione di un luogo terrestre » la quantità di radiazione solare che a un dato istante cade, in un minuto primo, su un cm^2 (orizzontale) di un luogo terrestre di determinate latitudine e longitudine.

Ma abbandoniamo ora le ipotesi e le teorie e torniamo alla nostra storia. I ghiacciai si estendono e si ritirano; ed è fra il crescendo e il diminuendo di gelo e di neve dell'epoca glaciale che ci imbattiamo in forme che sono simili a forme umane. L'età dei mammiferi culmina nel ghiaccio, negli stenti e nell'uomo.

L'uomo

E ora leviamoci il cappello: siamo dinanzi all'uomo.

In quest'ultimo secolo, l'origine dell'uomo e i suoi rapporti con gli altri animali sono stati oggetto di grandi controversie, che ancora oggi non sono sedate. Naturalmente non è qui il caso di abbandonarsi a discussioni; io mi limiterò a raccontarvi quale sia oggi l'opinione prevalente tra gli uomini di scienza: ne riparleremo diffusamente più tardi.

Questa opinione è la seguente: l'uomo, come tutti gli altri mammiferi, discende da antenati di un tipo più basso. « Ma sì », mi direte, « sappiamo benissimo che Darwin ha detto che l'uomo discende dalle scimmie ». Ebbene, no, no e poi no: dire che l'uomo discende dall'orang-outang, dal gorilla o dallo scimpanzè è come dire che io discendo da un esquimese che abbia la mia stessa età. Perchè l'orang-outang, il gorilla e lo scimpanzè hanno, più o meno, la stessa età dell'uomo.

Quindi l'uomo *non* discende dalle scimmie; ma esso *e* le grandi scimmie hanno avuto un giorno un antenato comune, il quale a sua volta discendeva da un mammifero ancora più primitivo, che a sua volta discendeva da un rettile teromorfo, il quale aveva per antenati una serie di anfibi che a loro volta discendevano dai primitivi pesci.... Ecco quale si pensa che sia la genealogia dell'uomo.

Molto probabilmente questo antenato comune del principio del cenozoico era un mammifero essenzialmente terrestre; le grandi scimmie si sono poi specializzate nella vita arborea e l'uomo è rimasto terrestre.

Nel caso di diversi mammiferi moderni è possibile seguire

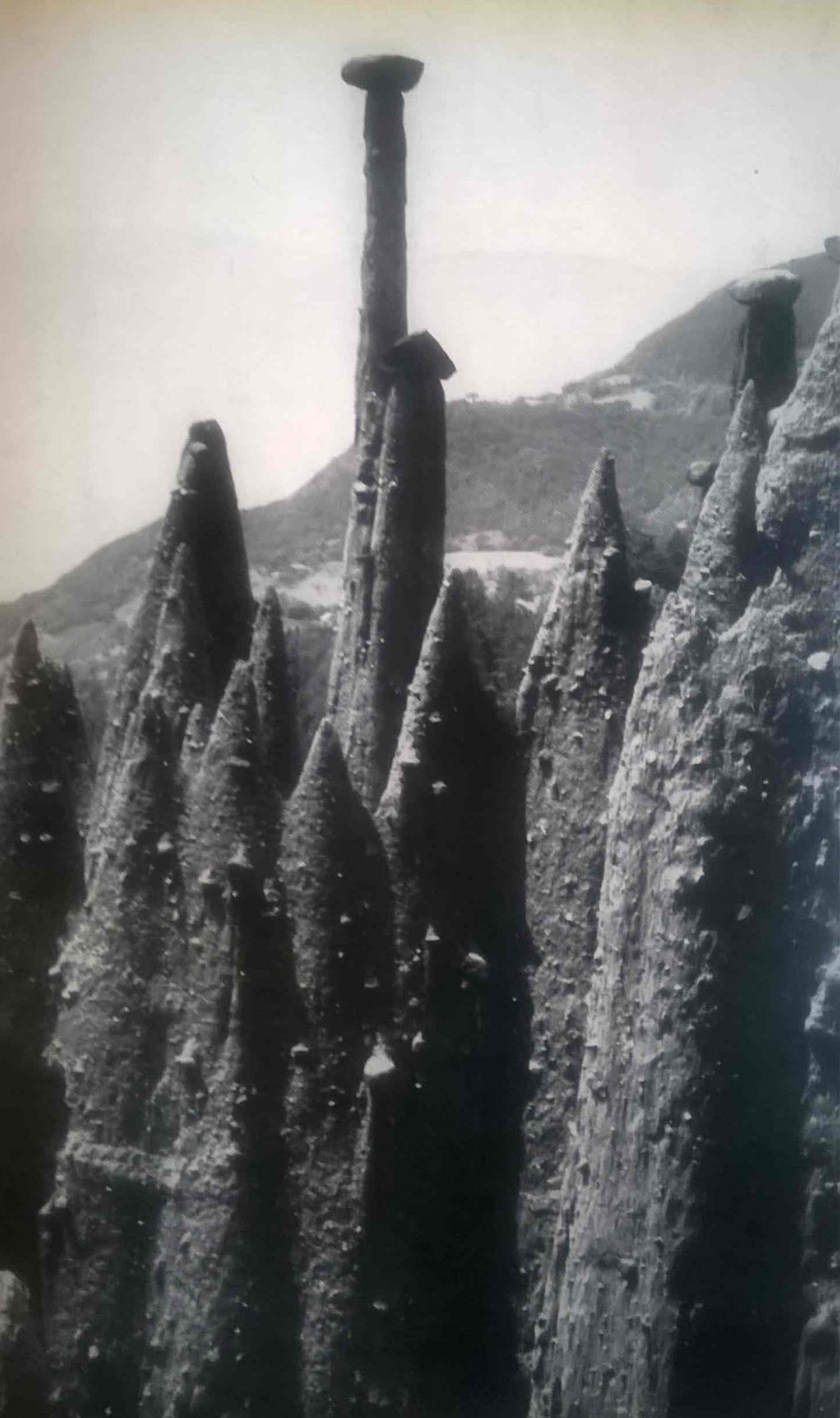



TAVOLA XIII

Piramidi di erosione sull'Altopiano del Renon in Alto Adige (*Foto L. Baehrendt, Merano*).

quasi passo passo la linea di discendenza dai loro antenati del principio del cenozoico: si può fare questo per gli elefanti, i cammelli, i cavalli. Ma per l'uomo, purtroppo, ciò non è possibile: i fossili degli antenati dell'uomo sono molto rari e imperfetti. Del resto questa rarità può essere giustificata. Molto probabilmente gli antenati dell'uomo, come del resto oggi le grandi scimmie, non costituivano una razza molto abbondante; in tutto il mondo non esiste oggi più di qualche migliaio di gorilla: e possono passare molte generazioni senza che un solo gorilla o uno scimpanzè o un orang-outang, abitanti delle foreste, muoia nelle condizioni adatte per fossilizzarsi, prima cioè che uno di essi trovi una tomba nei sedimenti deposti da veloci torrenti che straripino su una vasta pianura o che sia trasportato verso il mare e abbandonato in un estuario.

Può essere accaduto così anche per gli antenati dell'uomo; e se a ciò si aggiunge che le rocce sono studiate, da questo punto di vista, soltanto da pochissime generazioni e, per ogni generazione, soltanto da pochissimi uomini e che, praticamente, a questo scopo è stata esplorata una piccola parte della Terra; se si mettono insieme tutte queste circostanze, ci si convince che non è poi tanto strano che i fossili degli antenati dell'uomo siano, fino ad oggi, tanto rari.

Se noi raccogliessimo insieme tutti i resti conosciuti dei così detti *hominidi*, dei quali l'uomo moderno, l'*homo sapiens*, è l'unica specie superstite, non avremmo che un piccolo pacchetto: qualche dente, pochi crani frantumati e uno o due ossi; una lista molto magra. Ma questi pochi resti ci raccontano una interessantissima e inequivocabile storia.

Ma non vi racconterò qui questa storia perchè penso di parlarne in seguito, nella quarta parte di questo libro.

La vita sulla Terra è già vecchia di migliaia di milioni di anni quando sorge sul mondo il sole dell'umanità; ma questo è un avvenimento di ieri. Siamo oggi appena agli albori della coscienza e del pensiero: che cosa potrà compiere l'uomo nel lungo futuro che lo attende?

L'ORIGINE DELLE MONTAGNE

Che cosa è una catena di montagne

E torniamo infine a quella domanda che chiudeva il terzo capitolo di questa parte: « Come si sono formate le montagne? ». Purtroppo non soltanto io, ma nessuno può rispondere oggi con sicurezza a questo affascinante interrogativo.

Il problema dell'origine delle catene montuose da secoli affanna i geologi e i geofisici: sono state proposte, per risolverlo, teorie e teorie, alcune delle quali per lungo tempo sono sembrate definitive; ma nuovi fatti venivano a contraddirle, nuove teorie venivano proposte le quali, a loro volta, vacillavano se osservate alla luce dei risultati di nuove osservazioni. Perchè l'immaginazione è una cosa bellissima ma nel campo scientifico deve essere sempre accompagnata da quella potente arma di controllo che è l'osservazione: e in questo caso si deve osservare la disposizione delle catene di montagne, la loro età e la loro costituzione, la posizione dei continenti e delle isole, le tracce dei vecchi ghiacciai e la profondità dei mari; si deve confrontare

il materiale che costituisce il fondo dei vari oceani; osservare la distribuzione degli animali e delle piante nei vari continenti e nelle isole; osservare la disposizione dei vulcani... E, nell'enorme cumulo di queste osservazioni, che può sembrare caotico, rintracciare un filo logico che permetta di spiegare perchè le catene montuose si trovino oggi in quelle posizioni, perchè gli animali e le piante siano così distribuiti nei continenti e nelle isole, perchè i vulcani abbiano questa disposizione.

È questo un programma da far tremare le vene e i polsi; e non è poi tanto da meravigliarsi se gli scienziati non siano ancora d'accordo sulla soluzione di questo formidabile e fondamentale problema.

Prima di tutto: in che cosa consiste una catena di montagne? È presto detto. Riprendiamo quegli strati che lentamente ma continuamente vanno depositandosi sul fondo del mare o di un lago e che a un certo momento, a causa di movimenti più o meno complessi, vengono spostati dalla loro posizione originaria fino alla emersione dalle acque. Ebbene, può accadere, eccezionalmente, che questo spostamento avvenga in modo che si conservi l'orizzontalità degli strati: per esempio nel tavoliere russo gli strati presentano la originaria giacitura orizzontale. Di solito però ciò non avviene perchè generalmente, come sappiamo bene, le condizioni di giacitura degli strati vengono modificate in seguito allo spostamento e al corrugamento. E non soltanto gli strati possono trovarsi in definitiva più o meno inclinati o perfino rovesciati (in modo che i sedimenti più recenti siano in basso e i più antichi sopra), ma essi, di solito, sono anche deformati; possono essere piegati o rotti nei modi più complicati; possono essere innalzati in alcuni tratti e sprofondati in altri, possono essere fratturati e aver dato luogo a zolle più o meno grandi le quali poi si sono spostate le une rispetto alle altre e anche in blocco. Questi strati sedimentari corrugati, deformati, piegati, spezzati, spostati costituiscono le catene montuose.

E ancora una precisazione. Noi diciamo: la catena delle Alpi, la catena dei Pirenei, la catena dell'Himalaya, ecc. Ma i geologi no: essi chiamano *catena* tutta quella zona mon-

tuosa della crosta terrestre che si è creata nello stesso periodo, qualunque ne sia lo smembramento attuale. Mi spiego con un esempio: parlando da geologo, quando dico « catena alpina » non intendo riferirmi alle Alpi vere e proprie, ma intendo i più recenti corrugamenti montuosi (che hanno avuto luogo nello stesso periodo) che comprendono le Alpi, gli Appennini, i Carpazi, i Pirenei, i Balcani, l'Himalaya, le Montagne Rocciose, le Ande, ecc. Come vedete, i geologi sono molto più generosi dei geografi.

I grandi cicli

È stato possibile stabilire che nella lunghissima storia geologica della Terra si sono succeduti alcuni grandi *cicli* durante i quali sono avvenuti grandiosi fenomeni di corrugamento della crosta terrestre, cicli che sono separati da lunghi intervalli di assoluta o relativa quiete; cioè, in altre parole, la formazione delle catene montuose è un fenomeno *periodico* nella storia della Terra; esso si manifesta circa ogni 200 o 250 milioni di anni. (E non potete assolutamente pretendere una precisione maggiore).

Più precisamente in circa 200 o 250 milioni di anni si svolge completamente uno di questi grandi cicli il quale può sintetizzarsi nel quadrinomio: sedimentazione, trasformazione in rocce, formazione della catena montuosa, erosione della catena; e ricomincia poi un nuovo ciclo: sedimentazione, ecc. Il fenomeno iniziale è, dunque, la sedimentazione che, nelle acque del mare, accumula gli strati sul fondo di una geosinclinale; questi sedimenti si trasformano in rocce stratificate; la geosinclinale diviene area di corrugamento che porta alla formazione e alla emersione di una catena montuosa con accompagnamento di grandi eruzioni vulcaniche; e su questa catena comincia l'eterna azione degli agenti esterni; i materiali provenienti dalla lenta demolizione della catena, trasportati dai fiumi, vanno a depositarsi in mare in una nuova depressione.

Per quanto i geologi credano che esso sia stato preceduto da altri che non è possibile identificare, si può solo dire che il

primo grande ciclo è avvenuto prima di 600 milioni di anni fa; il secondo (circa 450 milioni di anni fa) interessò parte dell'Europa media e settentrionale, parte dell'Asia centro-meridionale e dell'America nord-orientale; il terzo, che si è chiuso circa 250 milioni di anni fa, si svolse per una parte minore in zone coincidenti con quelle destinate a piegarsi di nuovo nel ciclo successivo (per esempio le Alpi) e per una maggior parte in zone a queste adiacenti (come l'Europa media) o con essa confluenti; da esso risultarono nuovi assetti generali che estesero i continenti preesistenti trasformando in terre emerse o in piccoli mari zone che prima erano parti di geosinclinali o, almeno, di mare aperto. Infine il corrugamento più recente e forse più grandioso (il cosiddetto *ciclo alpino*) si è svolto tra 20 e 40 milioni di anni fa ed ha dato luogo alle maggiori catene (dalle Alpi all'Himalaya, dall'Atlante alle Cordigliere americane) e alle ghirlande insulari attuali (sia le pacifiche che le atlantiche).

Nel loro insieme si può dire che le rughe si sono manifestate in zone sempre più esterne: ogni corrugamento ha aggiunto nuove terre e nuovi rilievi a quelle precedenti.

Questi grandi cicli si preparano, maturano e completano in 200-250 milioni di anni. E qualche illustre geologo si chiede: quale è il misterioso legame con i fenomeni cosmici, se tale periodo trova un suggestivo riscontro nella durata di una rotazione completa del sistema galattico?

Dunque i cicli si succedono con un ritmo di circa 200 milioni di anni: l'uomo si trova sulla Terra da circa 550.000 anni. Un semplice confronto tra quei 200 milioni e questi 550.000 anni può costituire una efficace lezione di umiltà: e chi onestamente può dire di non averne bisogno?

La formazione delle montagne

Dunque le geosinclinali sono la culla dei grandi corrugamenti. Ma quali sono le forze che producono la complicata evoluzione di una geosinclinale portando infine alla formazione di una catena montuosa?

Vi avverto che passiamo ora dal terreno sicuro delle conclusioni che hanno ormai un riconoscimento unanime alle sabbie mobili delle ipotesi e delle teorie sulle quali gli studiosi discutono e si azzuffano.

Le teorie sono molte e le più varie; perchè i geologi sono andati a scovare dovunque le fonti di quella enorme energia che è necessaria per il sollevamento di una catena montuosa: dalla attrazione della Luna e del Sole alla gravitazione terrestre, dal calore originario della Terra alla radioattività (in quanto sorgente di calore), dai processi chimici alla tensione di vapore dei gas disciolti nel magma.

E a ognuna di queste ipotesi corrispondono varie teorie, nelle quali la genialità degli studiosi si sforza di utilizzare i risultati delle varie scienze, ideando e sviluppando nuovi metodi di indagine. Non spaventatevi: non ho intenzione di sommergervi sotto una valanga di teorie. Mi limiterò a raccontarne due e vi dico subito le ragioni di questa scelta che può sembrare parziale.

I geologi sono andati convincendosi che il corrugarsi delle fasce montuose, che sono relativamente ristrette e che vanno man mano aggiungendosi agli antichi nuclei continentali, sia prodotto soprattutto dai movimenti delle grandi zolle rigide che si trovano tra queste fasce; ma perchè e come avvengono questi movimenti? Le ipotesi emesse si possono riunire in due gruppi: i *movimenti di deriva* e le *correnti magmatiche*. I movimenti di deriva suppongono che il magma abbia, per così dire, un comportamento passivo e che le masse continentali si muovano su questo magma; le correnti magmatiche, invece, suppongono la crosta solida ancorata alle masse profonde le quali, muovendosi, porterebbero le zolle rigide l'una contro l'altra provocando così il corrugamento delle deformabili zone interposte.

Ecco allora la mia scelta: vi racconterò la suggestiva *teoria di Wegener* (che appartiene al primo gruppo), che ha avuto un periodo di gran voga e che ha dato impulso a molte ricerche nei campi più svariati; e la *teoria di Rittmann*, che appartiene al secondo gruppo (correnti magmatiche) e che è la più recente. È una scelta troppo personale? Sicuro; ma certamente qualunque altra scelta provocherebbe egualmente vive proteste.

La teoria di Wegener

Come si sarebbero formati i continenti...

Già il nome della teoria che Alfredo Wegener sviluppò a partire dal 1910 è molto suggestivo; esso è: la *deriva dei continenti*. Secondo questa teoria, le parti realmente solide della crosta terrestre sarebbero soltanto quelle granitiche (Sial) che formano le zolle continentali; il fondo degli oceani, costituito essenzialmente di Sima, sarebbe soltanto irrigidito; esso può essere considerato come uno strato estremamente viscoso di quello stesso magma viscoso-fluido sul quale galleggiano i continenti.

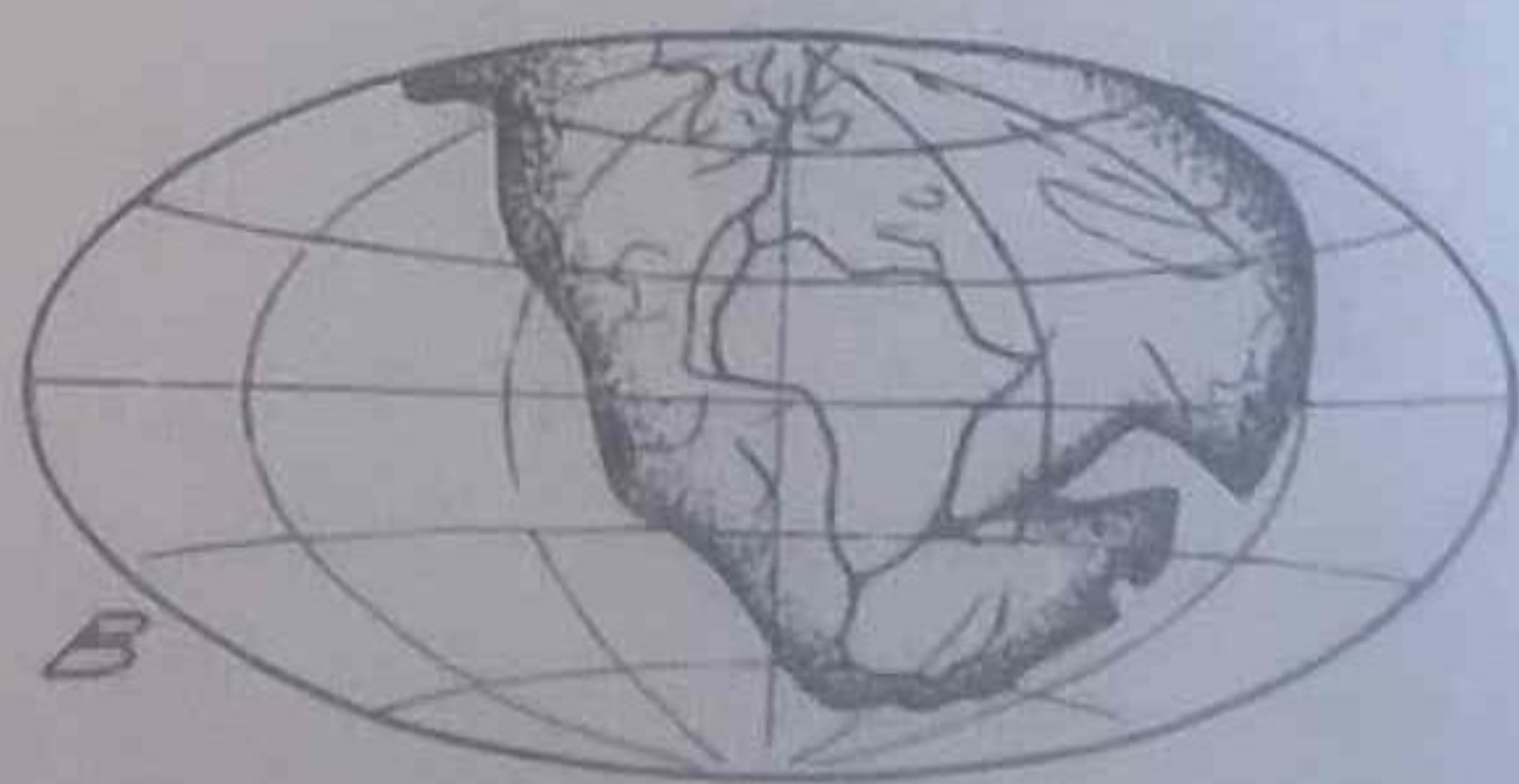
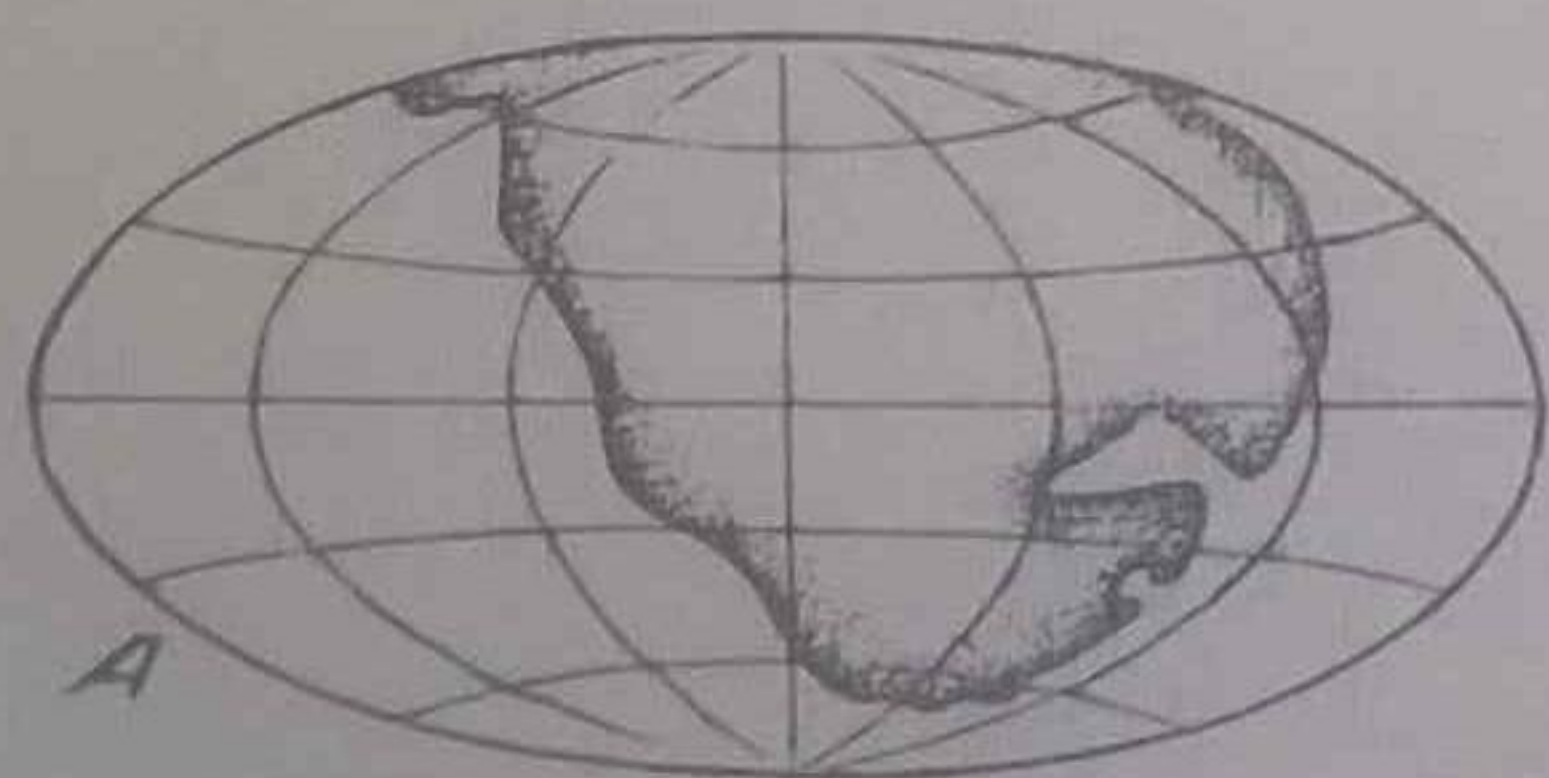
Da principio, cioè circa 2.500 milioni di anni fa, su tutta la superficie della Terra, il Sial si estendeva più o meno uniformemente sul Sima. Se la Terra fosse un corpo immobile nello spazio e lontana da ogni altro corpo celeste, questo stato di cose si sarebbe mantenuto immutato. Ma la Terra non soltanto gira intorno a se stessa ma ruota anche intorno al Sole; e inoltre la Luna, a breve distanza, percorre il suo eterno cammino intorno alla Terra.

Quindi questo strato di Sial, galleggiante sul Sima, era soggetto a due forze: l'una dovuta al movimento di rotazione della Terra intorno a se stessa e l'altra dovuta all'attrazione del Sole e della Luna. A causa del movimento di rotazione della Terra intorno a se stessa, lo strato di Sial era soggetto a una forza che tendeva ad allontanarlo dai poli e a portarlo verso l'equatore. A causa poi dell'attrazione combinata del Sole e della Luna, che provoca le maree, subiva anche esso un effetto che chiameremo di marea ed era sollecitato a muoversi verso Ovest.

Sotto l'azione di queste forze, quel povero strato di Sial si trovava proprio a mal partito: resistette per un gran pezzo finchè... tira di qua, spingi di là, si spezzò. Nelle fratture cominciò ad accumularsi l'acqua: nascevano gli oceani.

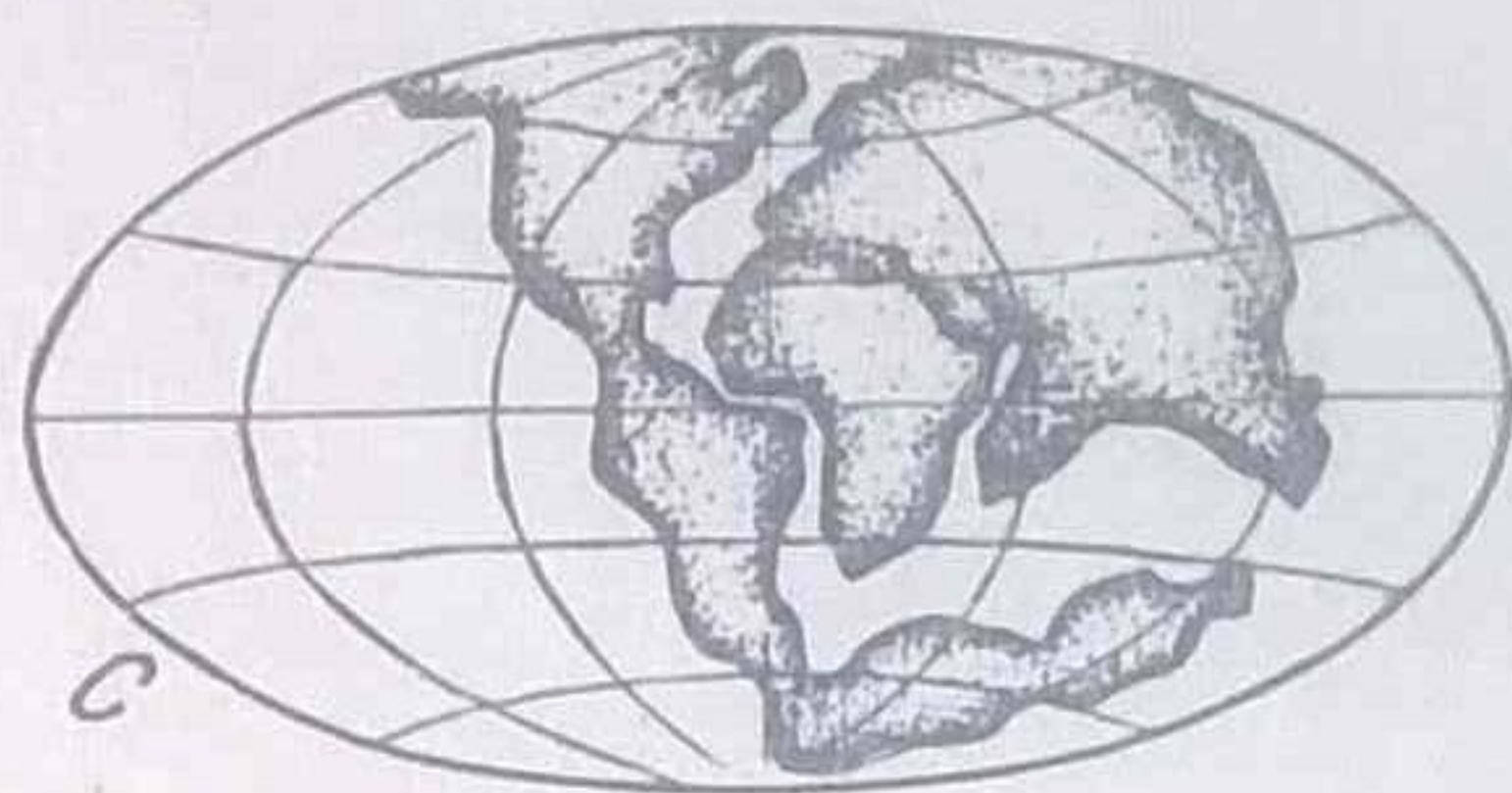
Ma quelle due forze continuavano implacabilmente ad agire; e i frantumi del Sial cominciarono lentamente a navigare, comprimendosi, ispessendosi e ripiegandosi. In questo modo, mentre gli oceani si ampliavano, cominciavano a sorgere le prime montagne.

Passano migliaia e migliaia di anni e i frantumi del Sial navigano, navigano lentissimamente; e la navigazione continua, tra compressioni e relativi piegamenti, finchè, circa 300 milioni di anni fa, il Sial si trovò tutto concentrato in un unico emisfero, formando così una grande massa continentale, ispessita e intensamente pieghettata. Ecco quale era allora l'aspetto della nostra Terra (fig. A).

Ma la tranquillità non è di questo mondo; su questo unico continente, a cui si era ridotto tutto il primitivo strato di Sial, continuarono ad agire quelle tali implacabili forze. E il continente resistette per più di cento milioni di anni finchè, circa 150 milioni di anni fa, si spezzò in frantumi, lungo quelle linee scure segnate nella fig. B. Questi frantumi sono gli attuali

continenti i quali però si trovavano l'uno addossato all'altro: le due Americhe adiacenti all'Europa e all'Africa, l'India, l'Australia e l'Antartide raggruppate a destra del Sud Africa.

Da quel momento i continenti, sempre sotto l'azione di quelle tali forze, sono andati allontanandosi l'uno dall'altro: ecco (fig. C) quale era l'aspetto della Terra circa 60 milioni di anni fa, e (fig. D) 25 mila anni fa. La figura E poi ci mostra l'aspetto attuale della Terra.

Fermiamo la nostra attenzione sull'America meridionale e sull'Africa. Ancora oggi i contorni di questi due continenti sono di una concordanza veramente sorprendente; non soltanto la grande spaccatura ad angolo retto, che si nota sulla costa brasiliana presso il capo San Rocco, trova la sua corrispondenza nella spaccatura della costa africana presso il Camerum, ma anche, al di sotto di questi punti, a ogni protuberanza della costa americana corrisponde una baia di eguale forma sulla costa africana; e viceversa ad ogni insenatura sulla costa brasiliana corrisponde una sporgenza sulla costa africana.

La corrispondenza è talmente evidente che credo che anche voi, ora, vi stiate meravigliando di non averci pensato prima.

...e le montagne...

Naturalmente durante questo movimento di enormi continenti, le cose non sono andate troppo lisce; anzi sono andate tanto poco lisce, che ne sono venute fuori... le montagne.

Infatti i continenti non navigano sul Sima con la stessa facilità con cui una barchetta di carta va navigando sull'acqua di una bagnarola. Il Sima è viscoso e offre una grande resistenza allo spostamento dei continenti; e questa resistenza è ancora accresciuta dal fatto che lo strato superficiale del Sima, che costituisce il fondo degli oceani, è irrigidito. A causa di questa enorme resistenza che i continenti incontrano nella loro difficile navigazione, i margini occidentali dei continenti che si spostano verso Ovest, si increspano: queste increspature sono montagne.

Così nello spostamento verso Ovest delle due Americhe, il margine occidentale si corrugò formando la catena di montagne giganti che si estende dall'Alaska all'Antartide.

Quando poi, nel suo spostamento, una terra si avvicina a un'altra terra, essa comprime gli strati interposti e li piega, li solleva, li rovescia gli uni sugli altri; per farvene un'immagine, inginocchiatevi in terra accanto a un piccolo tappeto, tenetene fisso un estremo e, con l'altra mano, avvicinategli l'altro estremo facendo scorrere il tappeto sul pavimento: il vostro tappeto si solleva in pieghe; così quegli strati si sollevano in montagne.

Così l'Africa, avvicinandosi all'Europa, ha piegato e sollevato gli strati interposti ed ecco le Alpi. E così è accaduto per l'India; l'India peninsulare era, all'origine, un lungo territorio, certamente coperto per la maggior parte da un mare poco profondo, unito al continente asiatico. Dopo la separazione da un lato dell'Australia (circa 150 milioni di anni fa) e dall'altro del Madagascar (circa 50 milioni di anni fa), questo lungo tratto si è progressivamente accostato all'Asia, contraendosi successivamente in pieghe: queste pieghe costituiscono oggi la più potente catena di montagne, che si trovi sulla Terra, l'Himalaya e i numerosi massicci dell'Asia.

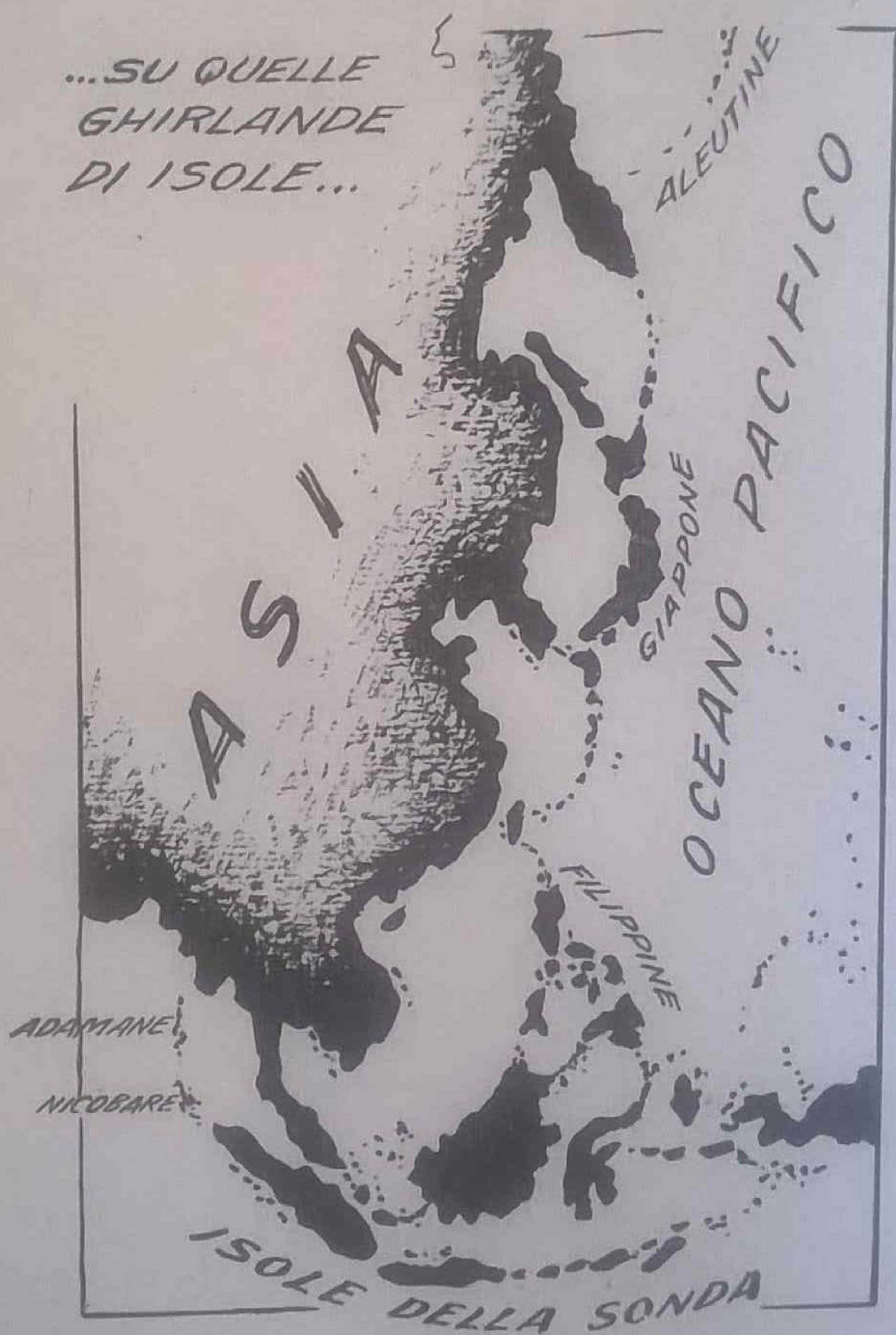
Da tutto ciò si deduce che anche la vita dei continenti è faticosa, dura e irta di ostacoli.

...e le isole...

Guardiamo un po' insieme la figura della pagina 256 e fermiamo la nostra attenzione su quelle ghirlande di isole che

...CHE SI ESTENDE
DALL'ALASKA ALL'ANTARTIDE

festonano tutta la costa orientale dell'Asia. Questo accumularsi di isole è forse un frutto del caso? No; vi racconto subito anche l'origine delle ghirlande di isole.

Abbiamo visto che durante il movimento di un continente verso Ovest, il suo margine occidentale, cioè il lato che avanza,

a causa della resistenza del Sima, si corruga e si ispessisce dando luogo alle catene montuose. Che cosa accade al lato opposto, cioè al margine orientale? Sempre a causa della resistenza del Sima, qualche pezzetto di continente si stacca, restando indietro

nel moto di deriva verso Ovest, trattenuto dal Sima sottostante. In questo modo il margine orientale del continente si può, per così dire, sbocconcellare.

Nella parte del continente asiatico rivolta verso Oriente, esistevano, fin da tempi antichissimi, alcune catene montuose litoranee le quali poi, durante il moto di deriva, sono rimaste indietro, dando così origine alle ghirlande di isole che festonano l'Asia e l'Australia verso il Pacifico.

E analogamente le Piccole e le Grandi Antille rimangono indietro nel movimento delle terre dell'America centrale; e lo stesso è accaduto per il cosiddetto arco delle Antille del Sud tra la Terra del Fuoco e l'Antartide occidentale.

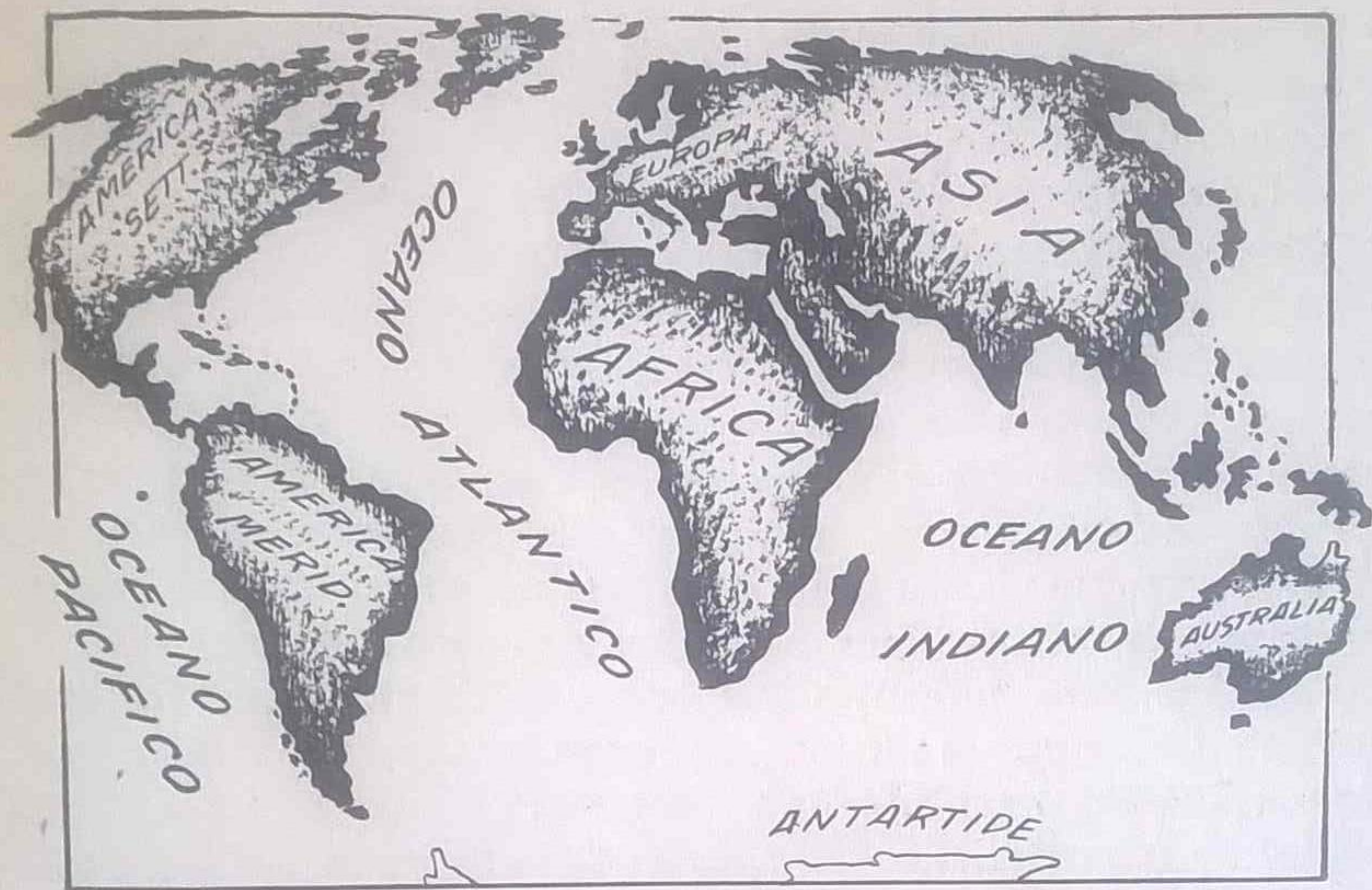
LE PICCOLE E LE GRANDI ANTILLE

L'identità dello scaglionamento delle ghirlande asiatiche è veramente sorprendente. Guardiamo ora più attentamente la figura delle coste orientali dell'Asia cominciando dal Nord: le isole Aleutine formano una catena e terminano alla penisola di Camciatca, la cui catena, prolungandosi all'esterno, va a formare la ghirlanda delle Curili; questa a sua volta, termina nel Giappone, per poi far posto alla catena proveniente dall'isola di Salachin. A Sud del Giappone si può continuare a seguire questo ordinamento fino alle isole della Sonda. E qui le cose cambiano un pochino. Le isole della Sonda hanno prevalentemente un andamento quasi orizzontale da Est a Ovest. Si trattava anche in questo caso di una catena montuosa litoranea, la quale però era diretta nel senso del movimento del continente; mentre questo si è spostato, la catena marginale si è staccata dal continente, il quale, per così dire, è scivolato via parallelamente ad essa. Si è formata così una catena di isole con andamento orizzontale, la quale, proseguendo il moto di scivolamento, si è allineata con l'isola di Giava. Ed ecco che ora succede un macello. Perchè contro queste isolette pacificamente allineate, arriva la massa Australia-Nuova Guinea, anche essa in moto. La povera catena di isole viene brutalmente afferrata e piegata a spirale fino all'isola di Buru; perchè tutto ciò vi sia più chiaro

vi disegno la posizione attuale delle quattro isole Sumba, Timor, Seran e Buru.

Ma poichè ora ci troviamo da quelle parti, approdiamo un momento in un'altra isola di quei felici mari del Sud: approdiamo a Sumatra e guardiamo i dintorni. Ecco a Nord-Est di Sumatra la penisola di Malacca piegata a gomito, a Nord-Ovest il gruppo delle isolette Andamane e delle Nicobare. Che cosa è accaduto nel corso di milioni di anni in quell'angolo di mondo?

Probabilmente esistevano qui due catene montuose litoranee. Quando l'India ha ruotato, dando luogo alla grande compressione dell'Himalaya, essa ha forse esercitato una trazione su queste catene; per effetto di questa trazione la catena più esterna si sarebbe staccata dal continente, rimanendo attaccata al Sima: ed ecco le Andamane e le Nicobare. La catena più interna invece, cioè la catena di Sumatra, si sarebbe spezzata; le due parti di questa catena sono la penisola di Malacca e l'isola di Sumatra; infatti il gomito della penisola di Malacca corrisponde alla frattura nella parte Nord dell'isola di Sumatra. Insomma la penisola di Malacca sarebbe stata tirata su verso Nord come l'estremità di una gomena.

Le ghirlande di isole sono quindi originate dalla resistenza del Sima, il quale, durante il movimento dei continenti verso Ovest trattiene le terre di minore estensione. Ma il Sima trattiene, nel loro movimento, anche le punte dei continenti, le quali perciò si incurvano verso Est: basta guardare una carta per rendersene

... BASTA GUARDARE UNA CARTA...

conto: la punta Sud della Groenlandia, la Florida, la Terra del Fuoco, la Terra di Graham dell'Antartide, Ceylon, sono infatti tutte incurvate verso Est.

...e i vulcani...

I vulcani costituiscono per Wegener un fenomeno del tutto secondario. In verità non credo che fosse questa l'opinione degli abitanti di Ercolano e di Pompei nell'anno 79 dopo Cristo; e credo che non sarebbero stati di questo parere nemmeno gli abitanti dell'isola Krakatoa, la quale, come ho già detto una volta, il 28 agosto del 1883 saltò in aria a causa di una spaventevole eruzione.

Tuttavia Wegener è proprio dell'opinione che il vulcanismo sia un fenomeno del tutto secondario. Riguardiamo la figura a pag. 140; vedete quelle piccole masse isolate di Sima che sono rimaste imprigionate qua e là nella corteccia di Sial? Ebbene,

se per una qualche ragione, in corrispondenza di uno di quei punti il Sial viene compresso, l'inclusione di Sima viene espulsa verso l'esterno, dando luogo a un vulcano.

Ed ecco tutto: nè più nè meno che il rigurgito (scusatemi) di un grosso boccone rimasto nella strozza.

L'esempio più chiaro si ha in quelle famose ghirlande arcuate di isole di cui parlavamo poco fa; a causa dell'incurvamento, nel lato interno, concavo, della ghirlanda si ha una pressione, mentre nel lato convesso, esterno, si ha uno stiramento. Ebbene, il lato interno delle ghirlande comprende sempre una serie di vulcani, mentre il lato esterno non presenta nessun vulcano, ma soltanto molte spaccature e sconvolgimenti.

Infine, una delle principali cause di compressione del Sial è la spinta di un continente che avanza verso un altro continente; in particolare l'Africa avanza verso l'Europa: ed ecco così giustificata la posizione del Vesuvio, dello Stromboli e dell'Etna.

Le prove di tutto ciò

Voglio riferire ora qualcuna delle prove che Wegener porta a sostegno della sua affascinante teoria.

Prima di tutto, da una serie di misure, si è potuto stabilire che la Groenlandia si allontana oggi dall'Europa di circa 30 metri ogni anno. E in tutto il mondo si stanno sistematicamente eseguendo misure di longitudine e di latitudine per poter stabilire con esattezza il movimento dei continenti l'uno rispetto all'altro.

E poi... se per sbaglio abbiamo strappato in pezzi una lettera e vogliamo ricomporla, come facciamo? Evidentemente prima mettiamo un pezzo accanto all'altro secondo i suoi contorni e poi andiamo a vedere se le righe coincidono. Ebbene Wegener fa la stessa cosa per i continenti: dopo averli avvicinati secondo i loro contorni, va a vedere dettagliatamente se le righe, cioè in questo caso le catene montuose anteriori alla rottura, appaiano l'una come il prolungamento dell'altra. Ebbene, ciò accade nella

grande maggioranza dei casi. Per esempio, i monti del Capo dell'Africa si prolungano nelle Sierre di Buenos Aires; la catena del Nord dell'Irlanda si prolunga in quella di Terranova; i piegamenti della Scozia e delle Ebridi si prolungano in quelli del Labrador. Invece i monti dell'Atlante (Marocco-Algeria), che si sono formati circa 150 milioni di anni fa, non si prolungano in America; è questo un fatto che non ci meraviglia perchè sappiamo che allora in quel luogo già esisteva la spaccatura atlantica. E ancora: diamanti bianchi si trovano nel Brasile e nell'Africa del Sud e i giacimenti di carbone dell'America del Nord appaiono come la continuazione immediata di quelli europei.

E poi ricordate quel tappeto che avevamo fatto arricciare in pieghe avvicinandone i due estremi? Ebbene, ora distendiamolo di nuovo per vedere quanto è lungo. Il lavoro non sarebbe molto faticoso se si trattasse di un vero tappeto; ma ciò che io ora voglio distendere è nientemeno che... l'Himalaya. Dunque tiriamo ben forte: le pieghe si distendono, il paesaggio si appiattisce... ed ecco il risultato: un territorio di 3000 chilometri di lunghezza; tanto quanto basta perchè l'India vada a congiungersi al Madagascar. Proprio ciò che doveva accadere secondo la teoria di Wegener.

E poi... chiediamo consiglio agli animali. Rivolgiamoci prima al ducongo Manatus, un animale che vive nelle correnti e nelle acque marine calde e poco profonde, ma che non può assolutamente attraversare l'Oceano Atlantico. Ebbene, questo ducongo si trova sia in Africa occidentale che nell'America del Sud. Cosa che, se si ammette con Wegener che un giorno l'America del Sud fosse unita all'Africa, appare del tutto normale.

Ma i risultati più interessanti si hanno se si studia la fauna antica e recente dell'Australia. Questa fauna è formata da tre elementi. L'elemento più antico è affine alla fauna dell'India, del Madagascar e dell'Africa del Sud. Il secondo elemento è costituito da quei mammiferi (marsupiali e monotremi) che non esistono nelle isole della Sonda, che pure sono così vicine all'Australia, ma che esistono invece nell'America del Sud. Infine il terzo elemento della fauna australiana, il più recente, comprende i rosicanti, i pipistrelli ecc. i quali sono comuni all'Australia, alla Nuova Guinea e alle isole della Sonda. Ora, se ammettiamo che i

continenti si siano sempre trovati l'uno rispetto all'altro nella stessa posizione che hanno oggi, tutto ciò ci appare molto strano. Per quale ragione, per esempio, i marsupiali e i monotremi si trovano nell'Australia e nell'America del Sud, così distanti l'una dall'altra, e non nelle isole della Sonda, così vicine all'Australia? Perchè soltanto in tempi recenti si sarebbe iniziato uno scambio di fauna tra le isole della Sonda e l'Australia, se esse avessero avuto sempre la stessa posizione reciproca che hanno oggi? Con la teoria dello spostamento dei continenti, invece, tutto si spiega facilmente. L'elemento più antico della fauna australiana è affine alla fauna dell'India, del Madagascar e dell'Africa del Sud, proprio perchè in quell'epoca l'Australia era addossata all'India, al Madagascar e all'Africa del Sud; i marsupiali e i monotremi esistono soltanto nell'Australia e nell'America del Sud perchè a quell'epoca l'Australia era ancora unita all'America attraverso l'Antartide. Infine, soltanto quando in tempi recenti (!) l'Australia giunge abbastanza vicina alle Isole della Sonda, si inizia con queste uno scambio di fauna che porta i rosicanti e i pipistrelli a popolare la parte Nord dell'Australia.

Come vedete, Wegener chiama a testimonio della sua teoria tutto il giardino zoologico.

Ed ora un'ultima prova di un genere del tutto diverso.

Lo studio delle piante fossili ci rivela una cosa molto singolare: e cioè che nella maggior parte delle regioni del globo vi era, nelle epoche passate, un clima completamente diverso da quello di oggi.

Un esempio molto evidente di questi grandi cambiamenti di clima è dato dalle regioni polari del Nord, soprattutto dallo Spitzberg il quale si trova oggi in un clima polare. Ebbene, nel carbonifero (che fa parte del periodo paleozoico) troviamo allo Spitzberg grossi depositi di gesso, che attestano un clima secco e una flora che ha carattere subtropicale; nel mesozoico vi crescevano la palma agù, che oggi si trova soltanto nei tropici, e il ginko, di cui una sola specie vive oggi nella Cina e nella parte meridionale del Giappone; e infine nella prima parte del cenozoico (quando l'Europa si trovava nella zona equatoriale delle piogge) vi erano là boschi con una quantità di piante superiore

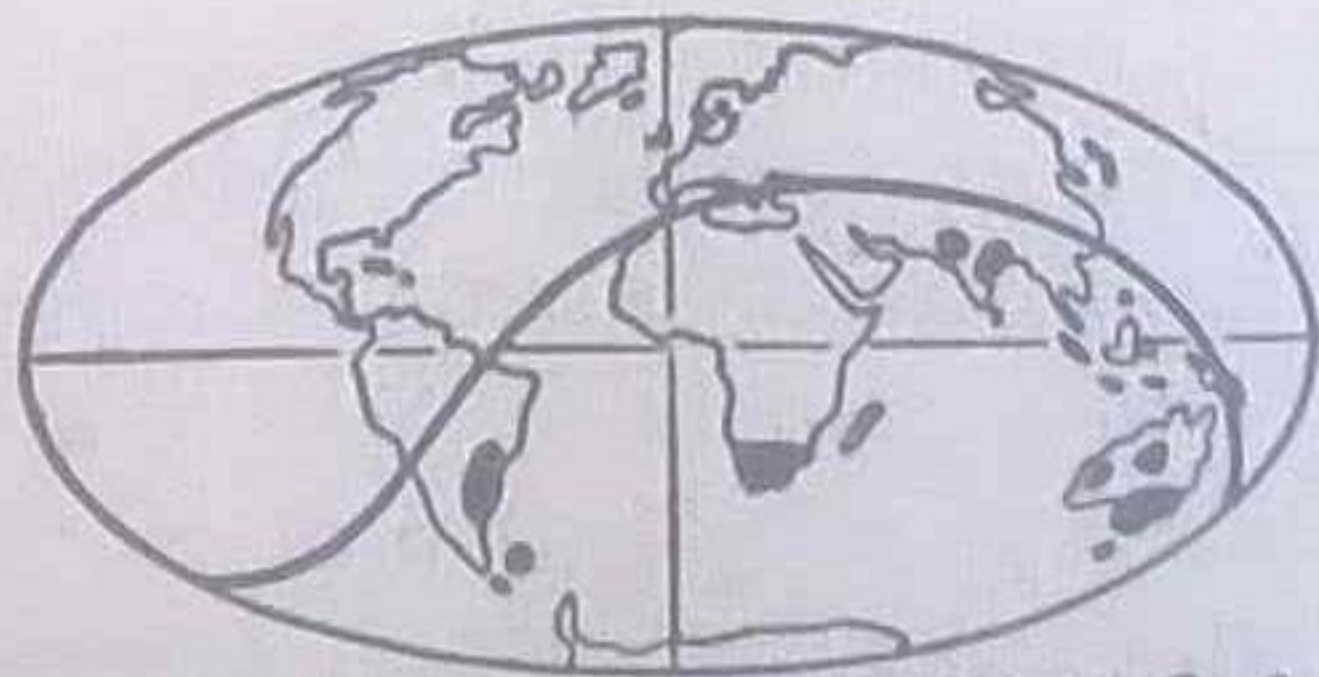
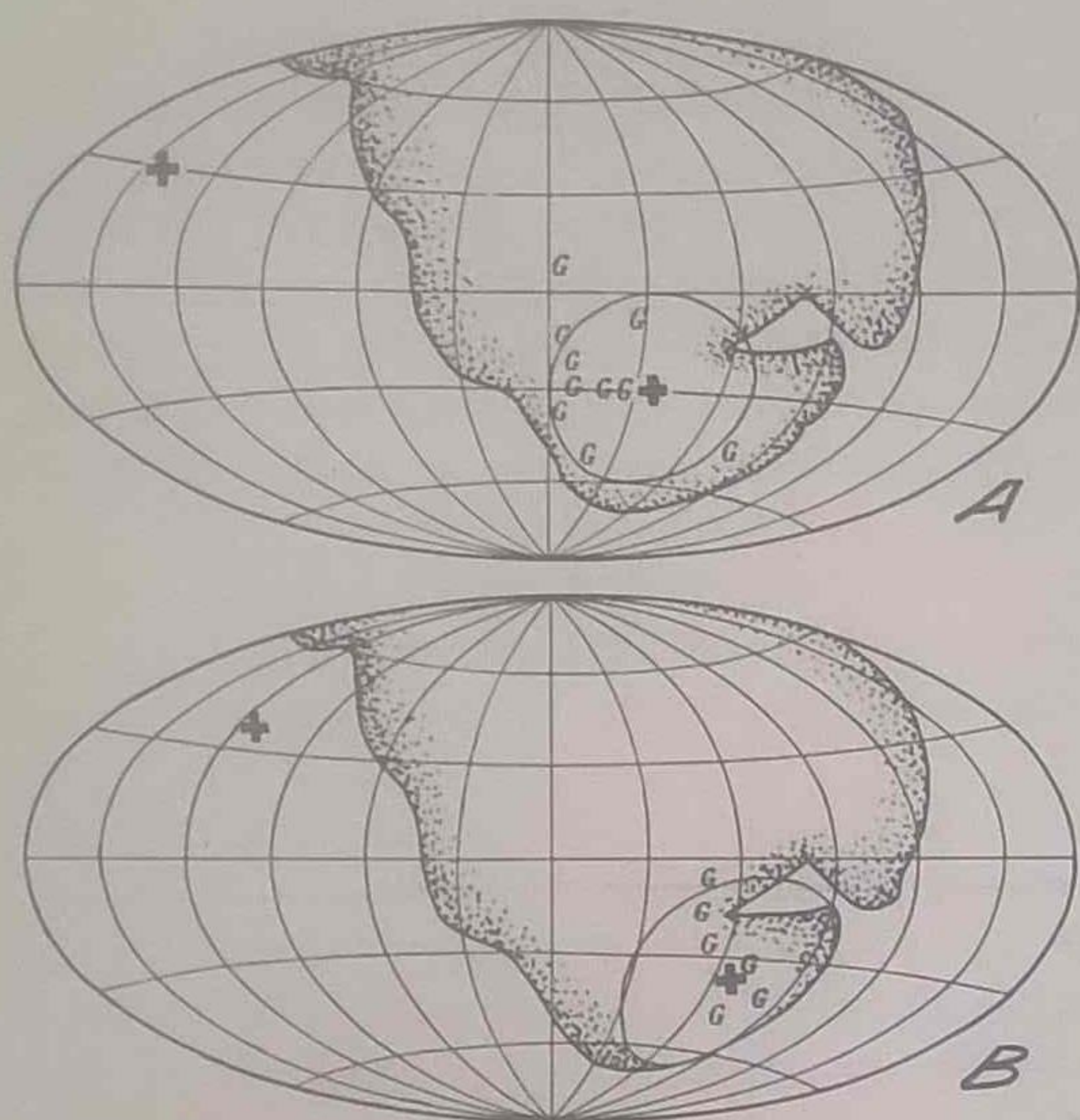
a quella che si ha oggi nell'Europa centrale: non solamente pini e tassi, ma tigli, faggi, pioppi, olmi, querce, aceri, edera, prugnole, nocciole, biancospino, viburno, frassino e persino piante dei climi caldi come ninfee, noci, cipressi di palude, gigantesche sequoie, platani, castagni, magnolie e la vite! In quelle epoche lontane evidentemente lo Spitzberg aveva un clima presso a poco eguale a quello che ha attualmente la Francia; la sua temperatura media cioè doveva essere di circa 20° più elevata di quella di oggi.

Frattanto, nello stesso intervallo di tempo, il Sud Africa subiva un cambiamento di clima altrettanto forte ma opposto: nel carbonifero sepolto sotto una cappa di ghiaccio, oggi in un clima subtropicale!

Questi enormi cambiamenti di clima, allo Spitzberg da subtropicale a polare, nel Sud Africa da polare a subtropicale, non si possono spiegare, secondo Wegener, in altro modo che con lo spostamento dei poli e, di conseguenza, dell'equatore e di tutto l'insieme delle zone climatiche.

Che i poli se ne vadano a spasso sulla superficie della Terra è, certamente, una cosa inaspettata; essa è secondo Wegener, una conseguenza dei grandi spostamenti di masse alla superficie terrestre.

Dunque, con l'andar degli anni, la posizione dei poli sulla superficie della Terra è andata cambiando. Come si può fare, allora, a determinare, per esempio, quale era la posizione del polo Sud nel carbonifero? Basterà cercare, nelle rocce di quel periodo, le tracce della calotta polare di ghiaccio; il polo Sud doveva trovarsi approssimativamente nel centro di queste tracce.

Ebbene, quando gli scienziati hanno fatto questa ricerca, si sono trovati dinanzi a un risultato incomprensibile: le tracce di questa calotta glaciale sono molto lontane le une dalle altre e si trovano sparse su quasi la metà della intera superficie terrestre! Come del resto si può vedere nella figura, nella quale le tracce del ghiaccio sono segnate in nero; quella strana linea scura rap-

LE TRACCE DELLA CALOTTA GLACIALE DEL CARBONIFERO

presenta l'equatore il quale appare così contorto a causa della particolare proiezione della figura.

Anche se collochiamo il polo Sud nella posizione più favorevole, vediamo che le tracce della calotta polare arrivano fin quasi all'equatore: il che vuol dire che il clima polare avrebbe dominato fin quasi all'equatore. E ciò mentre nell'altra metà della Terra si hanno tracce del caldo tropicale e subtropicale fino allo Spitzberg.

Questo risultato è evidentemente privo di senso. Ma se, invece di lasciare i continenti là dove sono oggi, noi li riportiamo alla posizione che essi avevano, secondo Wegener, nel carbonifero, tutto si chiarisce: perchè ora tutte le tracce della calotta polare si trovano raggruppate nell'interno della linea chiusa (fig. A); è facile segnare ora la posizione probabile del polo Sud (crocetta). Nelle rocce di quel periodo non si trovano le tracce della calotta glaciale del polo Nord per la semplice ragione che il polo Nord si trovava allora in pieno oceano (a sinistra in alto della stessa fig.).

Facciamo ora la stessa cosa per un periodo non molto successivo al precedente; indichiamo al solito, con G le tracce della calotta glaciale e con una crocetta la posizione del polo Sud (fig. B); come vedete, il polo non si trova più nella stessa posizione, ma si è spostato verso destra: e così ha fatto il polo Nord. E col passar del tempo i poli si sposteranno ancora seguendo un cammino capriccioso fino a giungere alle posizioni attuali.

La teoria di Rittmann

La teoria di Wegener investiva problemi geofisici, geodetici, paleontologici, vulcanologici, ecc. Non c'è quindi da meravigliarsi che essa abbia dato origine a infinite discussioni nei campi più svariati e a numerose nuove ricerche; e le forti critiche a cui essa ha prestato il fianco mostrano che, malgrado il suo fascino, non può essere accettata nel suo insieme anche se qualche suo concetto informatore possa ancora ritenersi vitale. Gli oppositori sono sorretti da molti validi argomenti: perchè sul fondo dell'Atlantico c'è uno strato di Sial? Perchè non vi sono catene montuose lungo il margine occidentale dell'Europa? Come mai il Sial, soggiacendo sempre alle stesse forze, si è prima frammentato, poi concentrato in un unico blocco e poi suddiviso in blocchi minori che sono andati sempre più allontanandosi? Quale è l'origine delle catene montuose dell'èra paleozoica?

Questa suggestiva teoria prestava perciò il fianco a numerose obiezioni. Furono allora proposte altre teorie traslatorie più o

meno modificate; ma ognuna di esse, a sua volta, presenta punti deboli.

E termino col dare, come ho promesso, un'idea molto schematica della teoria più recente, elaborata da Alfredo Rittmann (nel 1947), la quale, come ho già detto, appartiene al gruppo delle cosiddette *teorie delle correnti magmatiche*.

Il Rittmann esaminando, alla luce delle leggi della chimicofisica, i dati forniti dalla geofisica e dalla geologia, è venuto alla conclusione che esiste una grande differenza di temperatura fra la zona subcrostale che si trova sotto il continente e quella che si trova sotto l'oceano; precisamente che quest'ultima è di circa 600° maggiore. Di conseguenza, il magma suboceanico è più leggero di quello subcontinentale; esso quindi tende a migrare (sempre in profondità) verso il continente.

Questo fatto determina un abbassamento della zona fra oceano e continente: si origina così una geosinclinale; e contemporaneamente il continente si solleva, l'erosione si intensifica e aumenta il trasporto di materiali che vanno a depositarsi nella geosinclinale. Poichè la corrente magmatica orizzontale continua, la geosinclinale continua ad approfondirsi e si determinano sul suo fondo delle fratture dalle quali sale il magma, dando luogo al cosiddetto vulcanismo di geosinclinale; le masse laviche si accumulano anche esse su quella povera geosinclinale, la quale si approfondisce sempre più fino a che la parte inferiore comincia a fondere. A causa di questa fusione e di quel vulcanismo, la parte superiore del magma si degasa, si raffredda, aumenta di densità e tende a scendere; si genera così una corrente magmatica discendente che interrompe la corrente magmatica orizzontale.

La discesa del magma pesante causa, tanto per cambiare, un abbassamento ancora più accelerato della crosta, la quale viene « inghiottita » (come dice il Rittmann) dalla zona magmatica, mentre contemporaneamente si genera un afflusso di Sial e di Sima dai lati verso la zona di inghiottimento. Questo fenomeno provoca una compressione delle parti più alte della geosinclinale e quindi il corrugamento dei sedimenti accompagnato anche

da accavallamenti e ricoprimenti superficiali con scorrimenti.

Intanto il Sial e i sedimenti più profondi inghiottiti si riscaldano, fondono, diventando così più leggeri delle masse circostanti: queste masse, allora, tendono a risalire e, portandosi verso l'alto per ristabilire l'equilibrio, formeranno per successivi processi una catena montuosa che va a saldarsi al continente ai cui margini si era formata la geosinclinale.

E i fenomeni, se le condizioni rimangono favorevoli, si spostano verso l'oceano con la formazione di un'altra geosinclinale e l'inizio di un nuovo ciclo.

Per Rittmann, quindi, la condizione prima della formazione delle catene montuose sta nella esistenza di una zona in cui esistano squilibri tali da portare alla formazione di una geosinclinale.

Non ho nessuna fiducia di essere riuscito ad essere sufficientemente chiaro, ma non sono stato proprio capace di fare meglio.

Problema aperto

L'unica conclusione che si può trarre da tutto ciò è che il grandioso problema delle cause e dei meccanismi che presiedono alla formazione delle montagne è di una spaventevole complessità; e che, malgrado gli sforzi di tanti studiosi, esso presenta ancora moltissimi lati immersi nel mistero.

Conclusione poco confortante ma da cui gli scienziati non si lasciano scoraggiare: essi continuano imperterriti il loro lavoro e ogni giorno cercano nuovi elementi e perfezionano nuovi mezzi di indagine.

Conclusione

E così lentamente, inesorabilmente, sono passati gli anni; un giorno dopo l'altro si sono succeduti 3000 milioni di anni. E ogni anno ha recato un impercettibile mutamento: mutamento del paesaggio e mutamento degli esseri viventi. La lunga somma di questi impercettibili mutamenti ha portato la Terra ad essere quale noi oggi la vediamo, ha portato gli animali e le piante ad essere quegli animali e quelle piante che oggi ci circondano, ha portato gli uomini ad essere quali noi oggi siamo.

Il tempo scorre; il Sole sorge e tramonta; lentamente, inesorabilmente, si succedono gli anni.

LIBRO III
La Materia

Introduzione

Animato dal sacro fuoco dell'ispirazione, un pittore va all'aperto, pianta il suo cavalletto e guarda intento il paesaggio. E il suo sguardo abbraccia ogni cosa: vede laggiù il profilo sfumato delle montagne e più vicino il luccichio di quel ruscello e il verde smagliante di questo prato e l'oro di quel campo di grano e, sul pendio, le chiazze gialle delle ginestre; il suo occhio abbraccia tutto ciò e lentamente tutto penetra in lui.

Ma il suo sguardo si fa più attento; egli osserva ora i diversi toni di verde di quel prato smagliante, il suo occhio scorre lentamente sulle spighe, questa più pallida, quella più accesa, quella più rossastra; cerca di afferrare i colori fuggenti di quell'acqua viva; egli, insomma, analizza ora quella sua prima impressione di insieme.

Io non sono (purtroppo) un pittore, e il paesaggio dinanzi a cui voglio oggi fermarmi con voi non è forse così pittorico come quelle montagne e quelle ginestre; ma, per quanto meno pittorico,

esso è però molto più vario. Perchè oggi, con voi, voglio fermarmi a considerare la materia: tutta la materia sulla quale il nostro sguardo si ferma, quella che tocchiamo con le nostre mani e quella materia di cui noi stessi siamo costituiti.

E faremo come quel pittore: daremo prima a questo strano paesaggio uno sguardo di insieme e poi, piano piano, lo andremo analizzando nei suoi particolari, sempre più minutamente, sempre più addentro...

Se il programma vi attrae, venite con me; animati anche noi da un sacro fuoco, dal sacro fuoco della curiosità, piantiamo il nostro cavalletto e guardiamoci intorno attentamente mentre io, così alla buona, comincio le mie quattro chiacchiere.

MATERIA E LUCE

L'arduo compito del fisico

E alziamo prima il viso al cielo e guardiamo i pianeti, il nostro Sole, le altre stelle; immergiamo il nostro sguardo nelle più profonde lontananze dell'Universo; in ogni direzione nebulose, sempre più lontane, sempre più piccole. E chiniamo poi il viso verso la Terra che ci ospita per quel brevissimo istante che è la nostra vita; guardiamo i suoi mari, la sua atmosfera e i suoi monti. E chiniamoci ancora a guardare questo nostro corpo che tanto sempre ci occupa e ci preoccupa...

Dovunque il nostro sguardo ha incontrato materia: il nostro corpo, la nostra Terra, il Sole, tutte le stelle, ogni più lontana nebulosa, tutto è costituito di materia. Tutto l'Universo è materia.

Sorge ora spontanea la domanda: esistono leggi generali a cui tutta questa materia ubbidisca? Esistono, cioè, leggi che siano valide per il nostro corpo, per qualunque oggetto che si trovi sulla Terra, che siano valide per la Terra stessa, per il

Sole, per la più lontana delle nebulose e per la più scapigliata delle comete?

Ebbene queste leggi esistono. E la vita di tutta la materia dell'Universo — qualunque sia la forma sotto cui questa materia si presenta — si svolge armoniosamente secondo queste semplicissime leggi.

Cercare queste leggi vuol dire « fare della fisica ». Quale altra scienza si propone un problema più generale, più vasto e, diciamolo pure, più ambizioso?

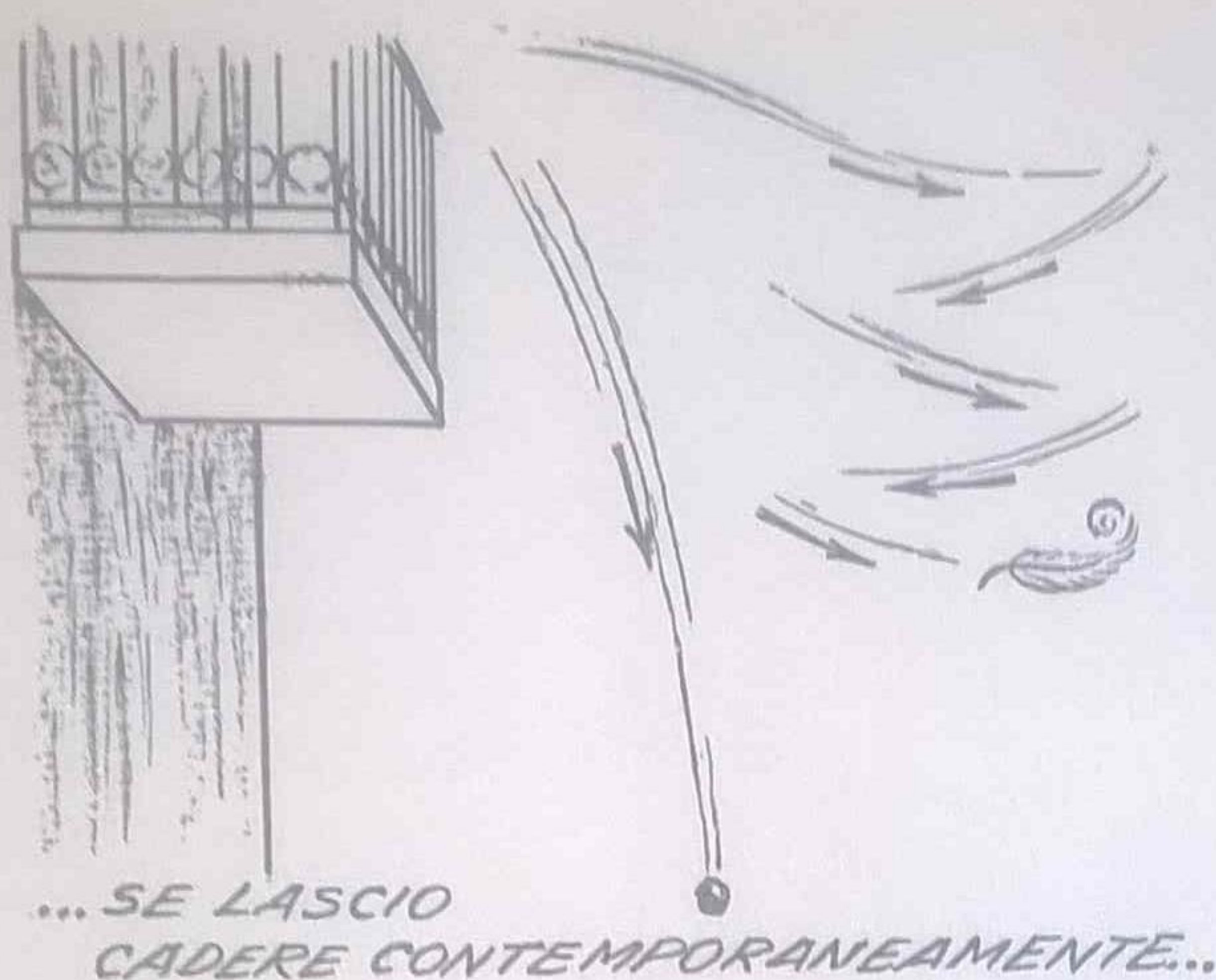
La Natura però è una custode molto gelosa delle sue leggi. I fenomeni che essa ci presenta sono vari e terribilmente complessi; andare a cercare in questa varietà e in questa complessità quel che c'è di comune, saper trascurare quei particolari che complicano i fenomeni, saperli ridurre alla loro più essenziale semplicità, ecco quale è il compito del fisico. Il compito è arduo e la meta è lontana, forse irraggiungibile; ma la gioia di percorrere il cammino è immensa.

Il metodo sperimentale

Un momento fa ho scritto « ...saper trascurare quei particolari che complicano i fenomeni »; ebbene in questa frase è raccolta l'essenza di quel *Metodo Sperimentale*, che è la base solida e vasta sulla quale si eleva tutta la scienza moderna.

Per due millenni, dopo che Aristotele creò quella sua filosofia che dominò incontrastata per tanto lungo tempo, lo studioso della Natura aveva osservato i fenomeni, così come essi gli si presentavano direttamente; egli però aveva osservato soltanto, supinamente. E aveva posto l'uno accanto all'altro, l'uno indipendente dall'altro, i risultati di queste osservazioni. Per due millenni la fisica non fu che l'insieme, un po' caotico, di queste osservazioni.

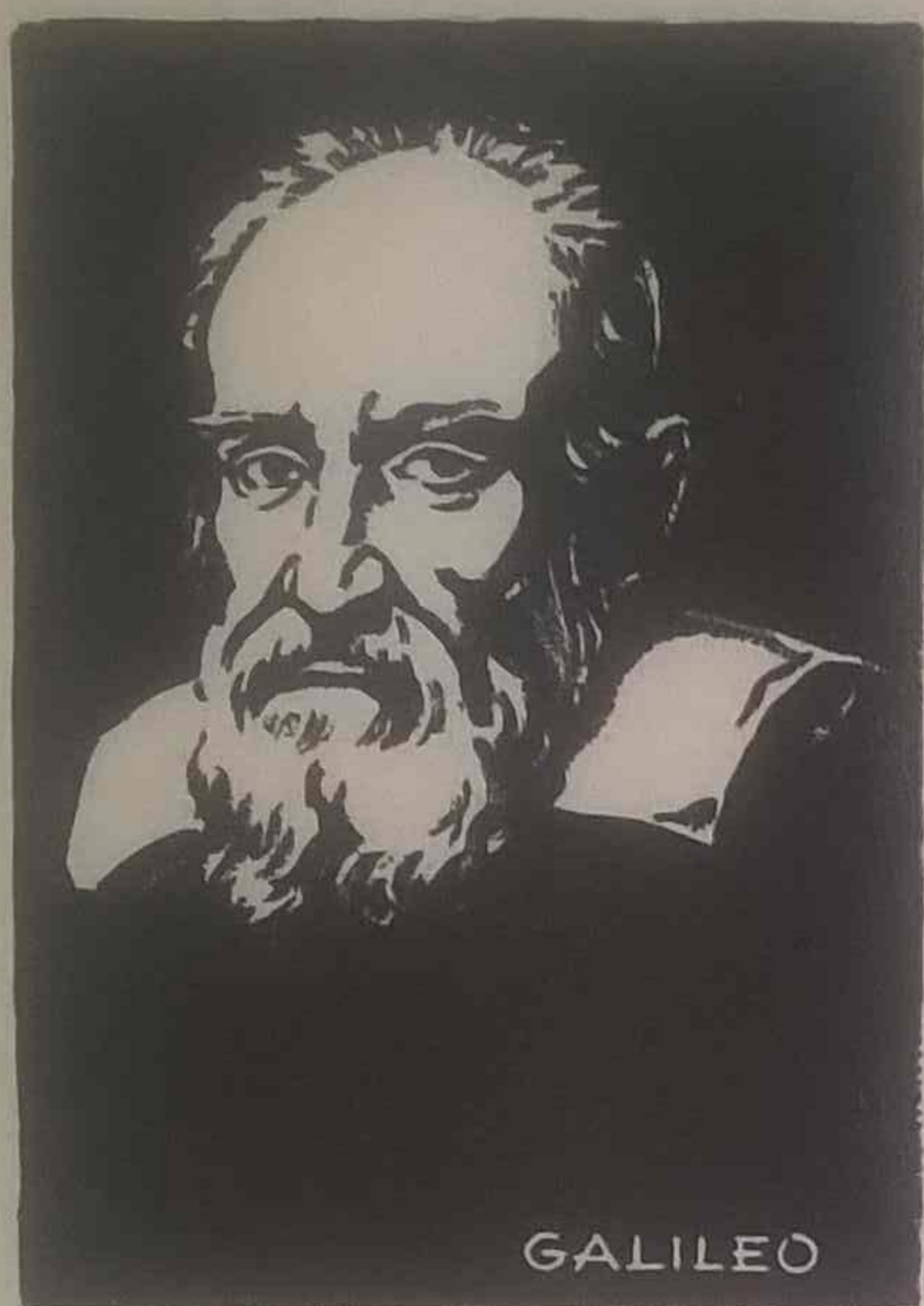
Faccio subito un esempio. Se lascio cadere contemporaneamente da un balcone un sasso e una piuma, vedo che il sasso si precipita diritto e veloce verso la terra, mentre la piuma cade lentissimamente, volteggiando con grazia. Ebbene, se io mi accon-

...SE LASCIO CADERE CONTEMPORANEAMENTE..

tento di osservare soltanto questo fenomeno, così come la natura me lo presenta, devo necessariamente concludere (come infatti fece Aristotele): i corpi abbandonati a loro stessi cadono con velocità diversa; e precisamente un corpo cade tanto più lentamente quanto più esso è leggero. Se poi si pensa che in una giornata di vento vedo che il sasso continua a cadere diritto mentre la piuma va ad appoggiarsi, sempre con molta grazia, laggiù all'angolo della strada, ci si accorge che il fenomeno della caduta dei gravi appare, a me che mi accontento di osservarlo dal balcone, talmente complesso e vario che non può nemmeno sfiorarmi l'idea che possa esistere una legge semplice e generale, che sia sempre valida per la caduta di qualsiasi corpo, pesante o leggero, piccolo o grande.

Ecco perchè per tanti anni lo studioso della Natura continuò ad affiancare l'uno accanto all'altro tanti fenomeni che gli apparivano indipendenti e che egli aveva supinamente osservato.

E così per due lunghi millenni; passa il Medioevo, passa la Rinascenza, con il suo splendore artistico e filosofico; ed eccoci, tra il XVI e il XVII secolo, a un nome, al nome di un grandissimo italiano che fu l'iniziatore di una delle più grandi rivoluzioni del pensiero. Eccoci a Galileo Galilei.

L'opera di Galileo fu immensa; fu il fondatore della dinamica, che è il punto di partenza di ogni ramo della astronomia,

GALILEO

della fisica e della chimica; fu astronomo ed ottico; inventò il telescopio, il termometro e l'orologio... Ma in questa immensa vastità della sua opera voglio ora soltanto scegliere un punto che può sembrare particolare ma che costituisce invece l'essenza di tutto il pensiero scientifico galileiano.

Fino a Galileo, gli studiosi della Natura avevano soltanto « osservato »; dopo Galileo essi « sperimentarono »; poichè egli fu il fondatore del Metodo Sperimentale, che non è soltanto un « metodo », nel senso che si attribuisce di solito a questa parola, ma è tutto un atteggiamento dello spirito; tra il XVI e il XVII secolo, per opera di Galileo Galilei, sorse la mentalità scientifica moderna.

Chi fa un'esperienza non si accontenta di osservare i fenomeni che la Natura ci offre, ma si fa parte attiva; li provoca modificando le condizioni in cui essi si producono, in modo da renderli schematici il più possibile, li sfronda di tutte le particolarità accessorie che normalmente li complicano, ne ricerca cioè gli aspetti essenziali.

Torniamo a quel balcone dal quale, in una giornata di vento, ci sporgevamo per seguire il moto di caduta di quel sasso e di quella piuma. C'è qualche cosa che turba questa caduta e che possiamo, anzi dobbiamo, eliminare per ricondurre il fenomeno alla sua essenziale semplicità? Sì, c'è qualche cosa; anzi vi sono due cose di cui dobbiamo liberarci: il vento e la presenza dell'aria. E allora — ed ecco che incomincia l'esperienza — ritiriamoci dal balcone e prendiamo un lungo tubo di vetro nel quale sia stato fatto il vuoto; non vi sarà più vento, non vi sarà più aria. Ci siamo messi nelle condizioni più favorevoli per potere osservare

il fenomeno della caduta di quei due corpi, lo abbiamo sfrondato di quelle particolarità accessorie che lo complicavano. Ebbene, facciamo ora cadere in questo tubo il sasso e la piuma; il sasso, al solito, cadrà diritto e rapido; ma la piuma, ora, non scenderà più volteggiando con grazia, ma cadrà diritta e rapida anche essa, esattamente come fa il sasso: il tempo di caduta di questi due corpi è identico. *Nel vuoto tutti i corpi,* qualunque sia la loro forma e la loro dimensione e qualunque sia il materiale di cui sono costituiti, *impiegano lo stesso tempo a cadere da una certa altezza.* La lentezza di caduta della piuma, i suoi volteggi e — ahimè — anche la sua grazia, erano soltanto un effetto della presenza dell'aria.

Fu così che Galileo, con una forza di astrazione che oggi ci riesce quasi impossibile immaginare, riuscì a separare, dal moto di un corpo che cade, tutti quei processi che sono provocati dalla resistenza dell'aria e dalla presenza del vento; egli cioè, dai complicati e diversi movimenti di caduta dei vari corpi, riuscì ad estrarre una unica forma fondamentale di moto che è il moto « ideale » di caduta di un corpo nello spazio vuoto.

Ma « sperimentare » vuol dire qualche cosa di più. Vuol dire, sì, sfrondare un fenomeno da tutto ciò che lo complica, ma vuol dire anche riprodurlo in condizioni tali da poter essere studiato con più calma e comodamente. E mi spiego subito con un esempio.

Per giungere ad enunciare la legge che tutti i corpi cadono con la stessa velocità, basta porsi in condizione di non essere disturbati nè dal vento nè dalla presenza dell'aria; ma se ora ci chiediamo: « quale è questa velocità di caduta? come varia nel tempo? », dobbiamo fare qualche cosa di più; perchè i corpi, cadendo, raggiungono ben presto una velocità troppo grande che è molto difficile, anzi praticamente impossibile, osservare e misurare.

Ed ecco Galileo fare anche questo qualche cosa di più. I gravi cadono perchè sono attratti verso la Terra da una forza *costante,* che è il loro peso; ebbene egli fece « un'esperienza » che gli permetteva, sì, di studiare il moto di caduta di un grave sotto l'azione di una forza *costante;* ma il valore di questa forza poteva

essere quale egli lo desiderava: essa poteva essere piccola a piacere. Ecco perchè Galilei studiò il moto di caduta dei gravi appoggiati su un piano inclinato. Ma entra ora in gioco un nuovo fattore che complica il fenomeno: l'attrito; ed ecco che Galilei usa, come gravi, sfere durissime e levigate e copre con una sottile pergamena i suoi piani inclinati, già lisciati con grande accuratezza.

Fu così che tre secoli e mezzo fa Galileo Galilei, con una esperienza completa, che potrebbe essere una esperienza eseguita da un fisico moderno, trovò la legge meravigliosamente semplice che regola il moto ideale di caduta di un corpo nello spazio vuoto; la velocità di caduta di un corpo cresce proporzionalmente al tempo, il che, in parole povere, vuol dire che: la velocità di un *qualsiasi* corpo che cade è doppia, tripla, quadrupla... dopo un tempo di caduta doppio, triplo, quadruplo...

Così sorse il Metodo Sperimentale: la scienza moderna nacque quando Galileo Galilei fece scendere per la prima volta sul piano inclinato le sue sfere durissime e levigatissime.

Un piccolo, importantissimo m

Dopo Galileo, Newton. Vi sono periodi aurei nella storia del pensiero: Leonardo da Vinci, Galilei, Keplero, Newton...

E Newton, sulle basi poste da Galilei, costruì, circa cinquant'anni più tardi, il primo edificio della fisica teorica. Partendo dalle esperienze del piano inclinato, egli enunciò una legge generalissima che vale per tutta la materia, dovunque essa si trovi: essa è valida per ogni oggetto che si trovi sulla nostra Terra, vale per la Terra stessa, per il Sole, per tutte le stelle, per ogni lontana nebulosa; è valida per il gas più rarefatto e per il corpo più denso; è valida sempre e dovunque. È questa la *legge fondamentale della meccanica*.

Quando un corpo è soggetto a una forza, si muove con una certa accelerazione; ebbene questa legge, anch'essa meravigliosa nella sua semplicità, dice che *l'accelerazione del corpo è proporzionale alla forza applicata;* cioè, in parole più alla buona, quan-

to maggiore è la forza che agisce, tanto maggiore è la accelerazione del corpo.

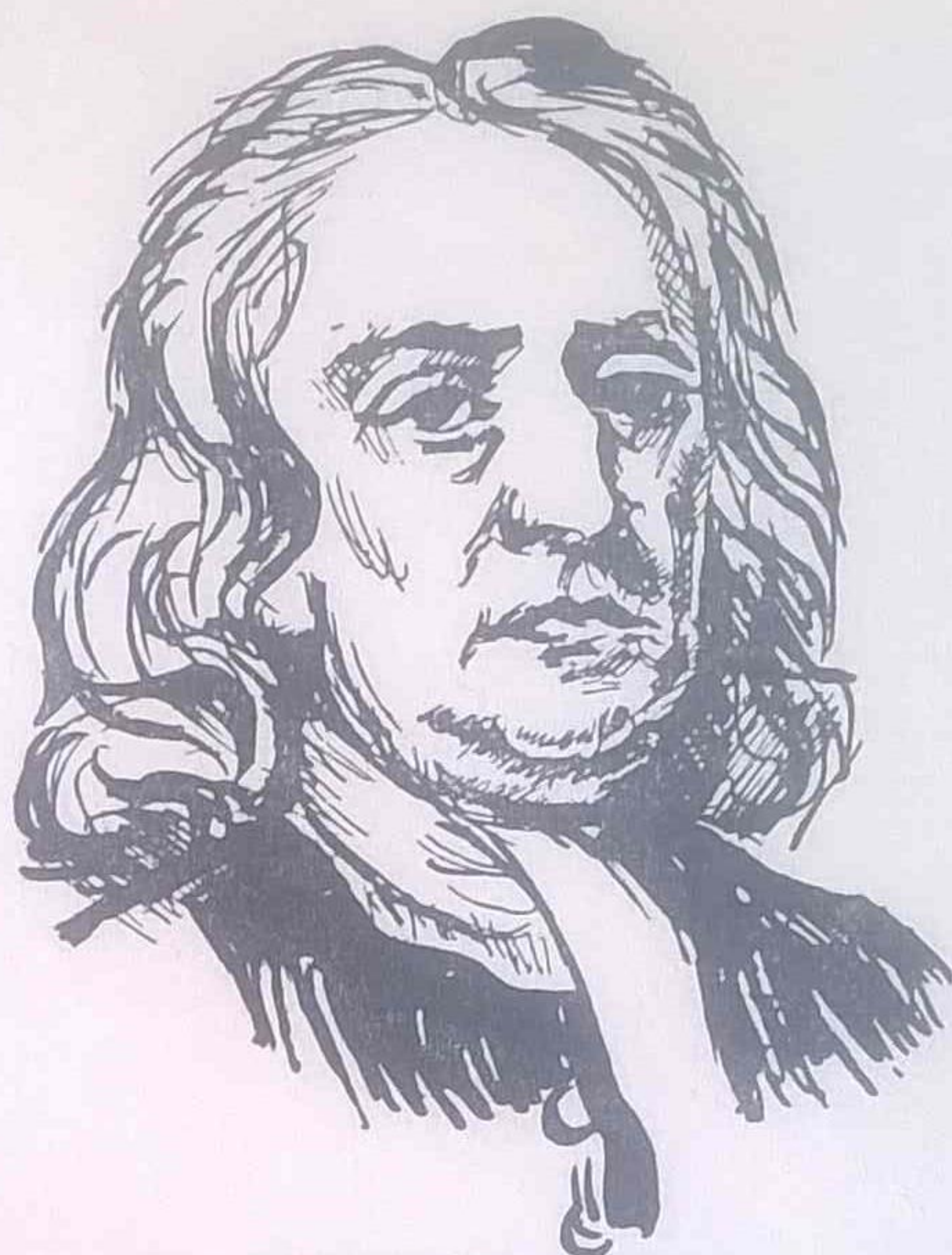
Questa legge si esprime con una formula semplicissima:

$$f = m \times a$$

nella quale f indica la forza che agisce sul corpo, a la conseguente accelerazione e m è una quantità che, per ogni corpo, si mantiene sempre assolutamente costante, perchè non dipende nè dalla forza applicata nè dalla accelerazione. Naturalmente poi essa ha valori diversi per i diversi corpi.

NEWTON

Una rispettosa sosta dinanzi a questo piccolo m: poichè siamo ora dinanzi al primo e più importante attributo della materia: siamo dinanzi alla *massa*. Dal punto di vista fisico, la caratteristica più importante di ogni oggetto non è nè la sua grandezza, nè la sua forma, nè il suo colore, nè il materiale di cui è fatto e tanto meno la sua temperatura; esso è caratterizzato innanzi tutto da ciò che, in forma vaga, possiamo chiamare la quantità di materia da cui è costituito: esso cioè è caratterizzato soltanto dalla sua massa. Dire materia vuol dire massa.

Ed ecco che Newton in questo piccolo m, nella massa, scopre l'origine dell'armonia dell'Universo: poichè ogni corpo, per il fatto di possedere una massa, attira ogni altro corpo con una forza che è tanto più grande quanto più grandi sono queste masse: la Terra attira a sè noi e tutti gli altri oggetti (ecco perchè noi e tutto ciò che ci circonda abbiamo un peso); attira la Luna, ed ecco che questa le gira fedelmente intorno senza allontanarsi nello spazio; per questa forza di attrazione il Sole trattiene intorno a sè tutti i pianeti, fornendoci il più bell'esempio di amore

e di concordia familiare; e le comete solcano il nostro cielo; e le stelle si mantengono strette insieme a formare le nebulose... Tutto l'Universo vive la sua vita armonica per quel piccolo *m* dinanzi al quale, poco fa, abbiamo sostato con rispetto.

Newton estese così a tutta la materia di tutto l'Universo le leggi che Galilei aveva enunciato nel caso particolare del moto di caduta dei corpi sulla nostra Terra; egli insegnò a considerare il moto dei pianeti come una conseguenza di queste leggi meccaniche; e sull'esempio più grandioso che ci offre la Natura provò la giustezza e la profondità dei nuovi principi meccanici.

Mi piace ripetervi qui la frase di un grande matematico: « L'uomo ha imparato la meccanica dal cielo e dal moto dei pianeti ». Ma esso non ha imparato osservando supinamente, ma riproducendo i fenomeni, provocandoli, modificandoli perchè essi potessero manifestargli i loro aspetti essenziali.

Alcune onde trovate sulla carta

Però non tutto, nell'Universo, è materia. Sono materia le stelle e le nebulose, la Terra e noi stessi, l'atmosfera e le nuvole...; ma nell'Universo c'è qualche altra cosa. Qualche cosa che, in un certo senso, fa da legame tra tutta questa materia; che mette in comunicazione i vari mondi, che corre dall'uno all'altro, che riempie tutto lo spazio; qualche cosa che permette ad alcuni di noi di studiare appassionatamente la Natura, che fa di altri dei pittori avidi di riprodurre le bellezze della Natura, che fa di tutti degli ammiratori della Natura. Questo qualche cosa che riempie tutto l'Universo, che corre da un mondo all'altro, che « mai non resta »..., questo qualche cosa è la luce.

Che cosa è la luce? Dire « luce » è lo stesso che dire « onde elettromagnetiche ». Che cosa sono queste onde? Conosciamo tutti le onde del mare, in cui ogni particella d'acqua è sottoposta a un movimento oscillatorio e, alternativamente, si innalza e si abbassa; sappiamo che i suoni non sono che movimenti oscilla-

tori delle particelle di aria. Ebbene, anche nel caso delle onde elettromagnetiche c'è qualche cosa che oscilla periodicamente; questo qualche cosa, però, è di natura elettrica e magnetica. E, con mio gran dolore, non posso proprio dirvi di più.

Ma se dire « luce » vuol dire « onde elettromagnetiche », dire « onde elettromagnetiche » non vuol dire soltanto « luce »; il campo abbracciato dalle onde elettromagnetiche è molto più vasto: tutte le onde della radio, le radiazioni calorifiche, la luce, i raggi ultravioletti, i raggi X..., sono tutte onde elettromagnetiche.

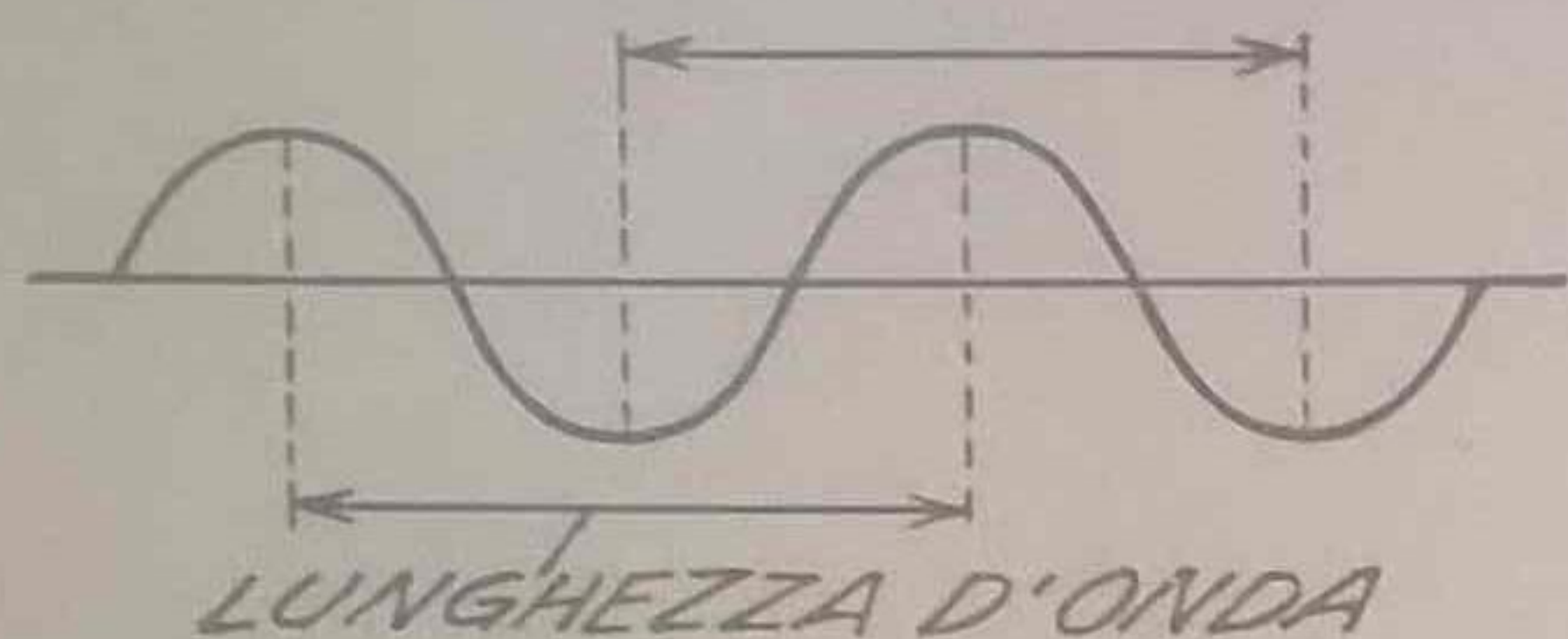
Queste onde, che hanno una così grande importanza nella nostra vita quotidiana, furono trovate... sulla carta; proprio così: esse furono, per così dire, lette nelle formule matematiche che il grande fisico inglese Maxwell aveva ottenuto studiando i risultati di alcune esperienze di natura elettrica fatte da Faraday. Credo che esistano ben pochi esempi più impressionanti della potenza della ricerca teorica. E soltanto dopo la scoperta di Maxwell, esse furono cercate e trovate da Hertz e, più tardi, per le applicazioni tecniche di Marconi, sono entrate così strettamente a far parte della nostra vita di tutti i giorni.

Se io dico: « il topo è un animale, ma non tutti gli animali sono topi », credo che sorriderete un po' di commiserazione per la ovvietà della mia affermazione. Chi non sa che esistono tanti animali, ognuno con caratteristiche ben distinte?

Forse però non è sembrata altrettanto ovvia la mia affermazione: « dire luce vuol dire onde elettromagnetiche; ma non tutte le onde elettromagnetiche son luce ». Eppure, più o meno, è proprio la stessa cosa: esistono tante onde elettromagnetiche, ognuna delle quali ha una ben distinta caratteristica. Un topo differisce da un gatto per tante cose: per le dimensioni, per il peso, per la forma, per i gusti (a un gatto piace mangiare i topi, ma — almeno a quanto mi risulta — un topo non ama mangiare un gatto)...; un'onda elettromagnetica invece differisce da un'altra onda elettromagnetica per una sola cosa: per la sua *frequenza*. Come vedete, il mondo animale è più vasto del mondo elettromagnetico.

E ora, immagino, vorrete sapere che cosa è questa frequenza; è molto semplice. Piantiamo qui tutto, libro e onde elettromagne-

tiche, e andiamo a fare una cosa che, certamente, avrete già fatto chi sa quante volte; muniamoci di un sasso e andiamo sulla riva di quel placido stagno che occhieggia laggiù, tra un albero e l'altro. Lanciamo il sasso nel bel mezzo dello stagno e facciamo attenzione a che cosa accade: un tonfo, qualche schizzo... e poi silenzio.

LUNGHEZZA D'ONDA

Ma la superficie di questo stagno, quella superficie che era prima così unita e così calma, è ora piuttosto sconvolta; nel punto dove è caduto il sasso, si formano successive onde circolari che vanno man mano allargandosi e vanno a morire tutte intorno sulla riva. Ebbene, prendiamo il nostro orologio e contiamo quante di queste piccole onde vengono, in un secondo, a morire ai nostri piedi; questo numero è la *frequenza* di quelle onde Se supponiamo che la velocità con cui si propagano le onde sia sempre la stessa, evidentemente questa frequenza sarà tanto più grande quanto più piccola è la distanza che c'è tra un'onda e l'altra, cioè quanto più piccola è la *lunghezza d'onda*.

E ora lasciamo lo stagno alla sua riacquistata immobilità e torniamo alle onde elettromagnetiche. Naturalmente le cose sono molto più complicate: tra l'altro, queste onde non si propagano su una superficie piana, come accadeva nello stagno, ma si propagano nello spazio; non saranno quindi onde circolari, ma saranno onde sferiche. Ma mettiamo da parte tutte le complicazioni; la cosa essenziale per noi è che anche in questo caso possiamo parlare di frequenza che, al solito, è data dal *numero di onde al secondo*. A seconda del valore di questa frequenza, abbiamo le varie onde elettromagnetiche; esse sono tutte dello stesso tipo, ma, per così dire, corrispondono a ottave diverse.

Le radiazioni elettromagnetiche di frequenza più piccola sono quelle usate per la radio; proseguendo poi verso le frequenze maggiori, troviamo le radiazioni calorifiche (cioè le infrarosse) e poi la scala di quelle visibili, che sono comprese entro limiti ben definiti di frequenza: se vi interessa, vi dirò che la luce rossa ha una frequenza di 430 mila miliardi di onde al secondo (!) e la luce violetta di 750 mila miliardi. Altro che le pla-

cide onde dello stagno che venivano dolcemente a morire ai nostri piedi!

Tra la luce rossa e la violetta vi sono tutti i vari colori: arancione, giallo, verde, azzurro, indaco; ognuno di questi colori corrisponde a onde elettromagnetiche di una ben determinata frequenza, compresa tra quella di 430 mila miliardi della luce rossa e quella di 750 mila miliardi della luce violetta.

Ecco che cosa è un colore per un fisico: una radiazione elettromagnetica di una ben determinata frequenza. Vi dispiace? Vi sembra che un fisico abbia così dinanzi a sè un mondo scolorito? Ma via! Vi assicuro che un fisico può apprezzare nel suo pieno valore i dolci occhi azzurri di una bella ragazza, anche se sa che la luce azzurra è una radiazione elettromagnetica che ha una ben determinata frequenza; ammirerà il colore nei suoi colloqui con la fanciulla, ricorderà le radiazioni elettromagnetiche e le loro frequenze quando sarà nel suo studio o nel suo laboratorio; sono aspetti diversi che si compenetrano e si completano.

E oltre le radiazioni visibili, ecco i raggi ultravioletti, i raggi X, i raggi gamma; essi sono radiazioni con frequenza man mano crescente.

Spero che ora l'affermazione « non tutte le onde elettromagnetiche sono luce » vi faccia sorridere per la sua ovvietà, come vi aveva fatto sorridere la mia prima affermazione: « non tutti gli animali sono topi ».

Nessuno potrà mai correre più di così

E tutte queste radiazioni elettromagnetiche — la luce, i raggi X, le onde della radio... — riempiono tutto lo spazio, correndo, intersecandosi...; quel cielo, che ci appare così silenzioso, così immobile, così pieno di pace, è in realtà brulicante di onde.

Ma, come sappiamo, il nostro occhio è insensibile a quasi tutte queste radiazioni che lo circondano e lo investono da ogni lato; esso è accordato soltanto su una ottava, vede soltanto le onde luminose, che sono una porzione così piccola del vasto campo delle onde elettromagnetiche; il nostro occhio è quasi

cieco dinanzi all'enorme ricchezza delle radiazioni che brulicano e si intersecano in quel cielo che ci appare così immobile e pieno di pace.

Le radiazioni elettromagnetiche corrono nello spazio... Corrono...; con quale velocità? Con una velocità enorme: la luce — come i raggi X, le onde della radio... — si sposta con la velocità di 300.000 chilometri al secondo! Capite che cosa vuol dire 300.000 chilometri al secondo? Vuol dire che un raggio di luce potrebbe percorrere in un secondo otto volte la lunghezza dell'equatore terrestre. Eppure, pur correndo con questa enorme velocità, un raggio di luce impiega otto minuti per arrivare dal Sole fino a noi e circa quattro anni e mezzo per giungerci dalla stella più vicina. Esistono alcune nebulose extragalattiche da cui la luce giunge fino a noi dopo 100 milioni di anni; i raggi luminosi che oggi giungono al nostro occhio sono partiti dalla nebulosa 100 milioni di anni fa; noi, oggi, la vediamo quale essa era 100 milioni di anni fa. Se, per un inverosimile cataclisma, questa nebulosa si distruggesse, i nostri eredi, gli eredi dei nostri eredi... continuerebbero a vederla per 100 milioni di anni là dove essa non è più.

Dunque la luce — come tutte le altre radiazioni elettromagnetiche — corre nello spazio con la velocità di 300.000 chilometri al secondo. Credo che in nessun altro caso il verbo « correre » sia tanto appropriato quanto in questo; e ciò non soltanto perchè 300.000 chilometri al secondo sono veramente una velocità enorme, ma perchè — ascoltatemi bene — esse corrono quanto più si può correre a questo mondo: *nulla può e nulla potrà mai muoversi nell'Universo con velocità maggiore;* e questa non è una impossibilità dovuta a ragioni pratiche, ma è una impossibilità assoluta.

Se un corpo riuscisse a correre alla velocità di 300.000 chilometri al secondo, la sua massa diventerebbe infinita. No, non guardatemi con quegli occhi e, a meno che non vogliate precipitarvi subito a studiare la teoria della relatività di Einstein, credetemi sulla parola: *la velocità della luce* — e delle altre radiazioni elettromagnetiche — *la velocità di 300.000 chilometri al secondo è una velocità limite.* In tutto l'Universo nulla può correre più velocemente.

L'etere e una gravissima colpa dei poeti

Certamente siete rimasti con una curiosità: come è possibile che le onde luminose si propaghino nello spazio vuoto? Nel caso delle onde sonore sono le particelle d'aria che vibrano; quindi esse cessano là dove l'aria non c'è più, ossia il suono non si propaga nel vuoto. Se una stella esplodesse, noi vedremmo questa esplosione perchè i raggi luminosi, attraversando lo spazio vuoto che c'è tra noi e la stella, giungerebbero fino a noi; ma assisteremmo a una esplosione silenziosa: le onde sonore non giungerebbero al nostro orecchio; esse hanno bisogno, per propagarsi, di quel supporto materiale che è l'aria.

E allora? Che cosa è che vibra nel caso delle onde luminose? Per lungo tempo i fisici si stillarono il cervello sopra questo problema e giunsero alla conclusione che tutto lo spazio dovesse essere pieno di una sostanza tenue e sottilissima, infinitamente più tenue e più sottile dell'aria; le onde luminose non sarebbero che le vibrazioni delle particelle di questa sostanza alla quale, per la sua tenuità e la sua inconsistenza, fu dato il nome di *etere*.

E fin qui nulla di male. Ma i guai incominciarono quando i fisici si misero a studiare le proprietà di questo etere; perchè essi giunsero a una conclusione veramente mirabolante. Date le particolari caratteristiche delle vibrazioni luminose e dato che la luce si propaga con l'enorme velocità di 300.000 chilometri al secondo, è assolutamente necessario pensare l'etere come una specie di corpo solido più rigido dell'acciaio! Capirete bene che a questa sorprendente conclusione i fisici sobbalzarono: come è possibile ammettere che l'etere sia un rigidissimo corpo solido, dal momento che i pianeti vi si muovono dentro tanto agevolmente e con tanta disinvoltura senza incontrare la benchè minima resistenza al loro moto? Niente da fare: l'ipotesi dell'etere era assolutamente insostenibile e i fisici, da brave persone logiche, la scartarono definitivamente. *L'etere non esiste;* lo spazio vuoto è veramente e del tutto vuoto.

Per potersi propagare, le onde elettromagnetiche *non* hanno

bisogno di nessun supporto materiale; quel qualche cosa che vibra nel caso di queste radiazioni non ha nessuna caratteristica materiale.

Penso che questa strana conclusione possa ripugnare al vostro istinto; ma riflettete bene: se possiamo costruire tutta la teoria delle radiazioni elettromagnetiche, se per mezzo di questa teoria possiamo prevedere il risultato di ogni immaginabile esperimento che si possa fare con queste radiazioni, senza che sia necessario, per questo, nemmeno parlare di un supporto materiale per queste onde, che cosa possiamo pretendere di più? Il voler sempre ricondurre tutti i fenomeni naturali a una spiegazione meccanica, materiale è soltanto una... cattiva abitudine che è tanto radicata in noi da essere diventata un istinto. Ma bisogna perdere le cattive abitudini; quindi accettate pacificamente quella conclusione che un po' vi ripugnava: le onde elettromagnetiche non hanno bisogno, per propagarsi, di nessun supporto materiale.

Che l'etere non esista è una cosa che i fisici e i matematici sanno oramai da molti anni; ma soltanto essi la sanno; il comune mortale continua a credere all'esistenza di un etere che riempie, lievissimo e tenue, tutto lo spazio. Da che cosa dipende questa strana persistenza di un errore? Ho sempre pensato che i maggiori responsabili siano... i poeti; sì: i poeti continuano a parlare dell'« azzurro etere », continuano a commuoversi dinanzi « all'etere pervaso dalla argentea luce lunare »...; e il povero, comune mortale sente parlare di etere in endecasillabi e in versi sciolti e, innocentemente — egli che non conosce nè i fisici nè le loro astruse diavolerie — persiste nell'errore.

Dicano un po', signori poeti, lo sanno che non è affatto bello da parte loro mantenere nell'inganno il povero, innocente mortale? Non potrebbero smetterla di cantare l'etere in endecasillabi e in versi sciolti? Ci pensino e... siano buoni, signori poeti...

SOSTANZE E MOLECOLE

Le sostanze e le loro trasformazioni

Immagino che voi, desiderosissimi di leggere questo libro, vi siate ben tappati in casa col fermo proposito di sorbirvelo tutto d'un fiato. Ma per quanto io giustifichi pienamente questo vostro desiderio, vengo subito a distrarvi. Aria, aria! Spalanchiamo la finestra, affacciamoci e guardiamo fuori.

Non so che cosa voi possiate ammirare dalla vostra finestra: dalla mia lo sguardo spazia su un magnifico giardino che — intendiamoci bene — non è mio; ma non me ne dolgo troppo: le sue piante fioriscono e la sua fontana canta anche per me, che sto relegato quassù, parecchio in alto in verità.

Questo giardino è tutto un piccolo mondo; e, senza che io entri in una troppo poetica descrizione, credo che ve lo immaginiate benissimo: piante di tutti i toni del verde e fiori di tutti i colori, viali candidi di ghiaia, sedili di pietra, sedili di legno e sedili di ferro e uccelli che cinguettano e la fontana che canta...

In fondo tutto ciò è sempre e soltanto materia: ma gli

aspetti sotto cui questa materia ci si presenta sono innumerevolmente vari. E le sostanze che appaiono in questo minuscolo angolo di mondo che io vedo da quassù, queste sostanze che si chiamano pietra e legno e ferro e acqua..., non sono che una piccolissima parte delle sostanze che ci offre la natura.

... PIETRA
E LEGNO E FERRO E ACQUA...

Poichè non appena volgiamo lo sguardo altrove, ecco subito altre sostanze, un numero enorme di sostanze: sotto i nostri piedi, intorno a noi, dovunque: in una elegante camera da pranzo, morbidi tappeti, argenteria e cristalli, la stoffa degli abiti degli invitati e il cuoio delle loro scarpe, i gioielli delle signore e l'aria nella quale tutti sono immersi...; sulla riva del mare, sabbia, acqua e, sempre, immancabilmente, l'aria...

Dovunque sostanze innumerevoli: sono gli aspetti diversi sotto cui ci si presenta la materia.

Questi aspetti però non sono immutabili poichè le sostanze possono trasformarsi l'una nell'altra; e queste trasformazioni sono molto più frequenti di quanto comunemente si immagini.

Quando vedete un boscaiolo che sorveglia il lento bruciare di una catasta di legna sapientemente accumulata, tutti pensate: quell'uomo sta trasformando il legno in carbone. Ma quando vedete un signore che si gode voluttuosamente una sigaretta, quanti di voi, invece di pensare: « beato lui! » pensano: « quel signore è tutto intento a trasformare il tabacco in cenere e in fumo »?

E nel frattempo tutta l'acqua di tutti i ruscelli, di tutti i fiumi, di tutti i laghi e tutta l'acqua del risonante mare va continuamente, incessantemente trasformandosi in vapore d'acqua; e il ferro va lentamente coprendosi di ruggine... Del resto anche

voi...; io non sono un indovino, ma so perfettamente che cosa state facendo in questo momento; sì: io so cosa stai facendo tu e tu e il presidente degli Stati Uniti e l'imperatore del Giappone e il più povero uomo della Terra e il più ricco dei miliardari: tutti, in questo momento, state respirando: e vi devo confessare che anche io, in questo momento, sto facendo la stessa cosa. Del tutto inconsapevoli, stiamo tutti laboriosamente trasformando ossigeno in anidride carbonica.

Mi sembra quindi che gli esempi di trasformazioni di sostanze non siano affatto scarsi.

La legge della conservazione della materia

Un po' più di 400 anni prima di Cristo, un certo Empedocle (un nome che non vi riesce nuovo, vero?) fece una affermazione che, più o meno, è stata enunciata come legge circa 2300 anni più tardi dal chimico Lavoisier come conclusione di una serie di delicatissime esperienze.

Questa *legge della conservazione della materia* è molto semplice: in poche parole, essa afferma che niente si crea e niente si distrugge. Per mezzo di reazioni chimiche una sostanza può trasformarsi in un'altra, oppure una sostanza può scomporsi in diverse altre, oppure diverse sostanze possono comporsi in una sola: ma in tutti questi casi sia prima che dopo la reazione il peso complessivo delle sostanze è lo stesso. Vi faccio subito un esempio un po'... *sui generis*.

LAVOISIER

Dunque pesiamo accuratamente un ragazzo e poi, come

ricompensa, offriamogli due etti di pasticcini; preghiamolo poi di permetterci di ripesarlo. Se prima egli (per esempio) pesava 55 chili, ora peserà 55 chili e due etti. Potremo scrivere l'eguaglianza:

peso del ragazzo dopo = peso di prima + peso pasticcini.

Dio mio! Non è proprio questo l'esempio che i libri seri di chimica citano per illustrare la legge della conservazione della materia! Quelli parlano di rame, di ossigeno e di ossido di rame, o di acido iodidrico, acido iodico ecc. Io mi accontento del mio esempio un po' voluttuario; dopo tutto questo non è affatto un libro serio.

Gli elementi chimici

Generalmente, se prendo una sostanza e la tratto — anzi, la maltratto — opportunamente, vedo che essa si scinde in vari componenti. Prendiamo, per esempio, (con precauzione) una certa quantità di polvere da sparo e sottoponiamola a molti maltrattamenti successivi che accenno a grandi linee senza indugiarmici troppo: trattiamola con acqua, agitiamo fortemente, riscaldiamola, filtriamo il tutto, facciamo evaporare il filtrato, secchiamo il residuo indisciolto... I maltrattamenti non sono ancora finiti, ma sorvolo; alla fine, sudati e affranti, ci troviamo tra le mani non più la polvere da sparo ma tre sostanze diverse: carbonio, zolfo e salnitro: la sostanza polvere da sparo si è scissa in tre sostanze componenti.

Ed ora prendiamo una per volta queste sostanze e ricominciamo i maltrattamenti, i quali però non saranno sempre coronati da successo; possiamo infierire sul carbonio e sullo zolfo con tutti i mezzi che sono a nostra disposizione, possiamo mescolarli con solventi, riscaldarli, filtrare..., vedremo che essi resistono impavidi ad ogni bufera: il carbonio resta carbonio e lo zolfo resta zolfo; non riusciremo mai a scomporli ulteriormente in altre sostanze. Con il salnitro invece le nostre fatiche

saranno premiate; esso si scinde in ossigeno, potassio e azoto; sostanze, queste, che non possono essere ulteriormente scomposte.

E questo che abbiamo fatto con la polvere da sparo, si può fare con qualunque altra sostanza. Se si sottopongono tutte le sostanze possibili a un trattamento continuato con i più diversi mezzi, si arriva finalmente a corpi che in nessun modo possono essere più scissi in componenti diversi: queste sostanze semplici si chiamano *elementi chimici*: essi sono soltanto novantadue.

Il numero delle sostanze esistenti in natura è infinitamente grande; ma tutte queste sostanze sono costituite dalle varie combinazioni dei novantadue elementi chimici. Non siamo riusciti in nessun modo a scomporre lo zolfo e il carbonio, per la semplice ragione che lo zolfo e il carbonio sono due elementi; come pure sono elementi l'ossigeno, il potassio e l'azoto che costituiscono la sostanza salnitro.

Dunque gli elementi sono soltanto novantadue; e con questi novantadue elementi madre Natura fabbrica tutte le sostanze.

È un po' ciò che accade in cucina; in fondo i dolci più vari e più squisiti sono fatti tutti con gli stessi ingredienti: farina, latte, zucchero, burro e uova; mescolandoli in diverse proporzioni e lavorandoli in diverso modo, una brava cuoca riesce a presentarci ogni volta un dolce diverso. Gli elementi chimici sono un po' più numerosi degli ingredienti per dolci; ma quella magnifica cuoca che è la Natura riesce con essi ad ammannire spettacoli che ispirano poeti e pittori; per suo merito risuonano officine e industrie e la vita ci affascina con la infinita varietà delle cose.

Tra questi novantadue elementi ve ne sono di solidi, di liquidi e di gassosi: per esempio il ferro è solido, il mercurio è liquido e l'ossigeno è gassoso. Inoltre tutti i metalli sono elementi: l'argento, l'alluminio, l'oro, il rame, il ferro, il nichel, il piombo, il platino, lo stagno, lo zinco, ecc.

Naturalmente anche per gli elementi esiste una gerarchia; i pezzi grossi sono l'ossigeno, che può combinarsi con quasi tutti gli altri elementi, e il carbonio, che è presente in tutte le sostanze organiche, che fa parte cioè di ogni corpo vegetale e animale.

L'elemento che si trova in maggior quantità sulla terra è l'ossigeno: lo si trova nell'acqua, nell'aria e nelle parti solide della crosta terrestre e ne costituisce circa il 50 per cento. Viene poi il silicio, che si trova nel quarzo, nella sabbia e in combinazione in molte rocce; e poi l'azoto, che si trova nell'atmosfera, e il carbonio e l'alluminio e il ferro ecc....

E ora vi dico una cosa piuttosto sensazionale: non soltanto tutta la materia terrestre è costituita con questi novantadue elementi, ma essi sono anche gli ingredienti con cui sono costruiti il Sole e tutte le stelle.

Tutta la materia dell'Universo si riduce soltanto, in ultima analisi, a questi novantadue elementi semplici.

La legge delle proporzioni costanti

Però una cuoca, in cucina, ha molta maggiore libertà nel fare i suoi dolci di quanto non ne abbia madre Natura nel costruire le sostanze mettendo insieme i vari elementi. Mi spiego: una cuoca può manipolare insieme un quarto di latte, due etti di zucchero, un uovo, mezzo chilo di farina e un etto di burro, oppure settanta grammi di latte, tre uova, quattro etti di farina, un cucchiaio di burro e un etto e mezzo di zucchero; oppure può fare a occhio prendendo un po' di latte, un po' di burro, molta farina; può aggiungervi un pizzico di cacao o può aggiungervene molto... ne verrà fuori un dolce più o meno buono, ma ne vien fuori sempre un dolce. Essa, insomma, non è legata da leggi fisse.

Ma madre Natura no; essa, nella manifattura delle sostanze, deve seguire alcune leggi ben determinate, altrimenti gli elementi ingredienti rifiutano di combinarsi, e non ne vien fuori nessuna sostanza, oppure in parte avanzano.

Mi spiego con un esempio; forse ricordate vagamente che l'acqua è costituita di idrogeno e di ossigeno. Ebbene, non basta prendere a occhio un po' di idrogeno e un po' di ossigeno e mescolare opportunamente per ottenere tutta acqua; se farete

così vi avanzerà sempre o un po' di idrogeno o un po' di ossigeno. Se voglio che tutto l'idrogeno e tutto l'ossigeno adoperati si combinino insieme a formare acqua, devo sempre prendere quantità ben definite di quei due gas; e precisamente devo prendere, per esempio, 2 grammi di idrogeno e 16 grammi di ossigeno, oppure 4 grammi di idrogeno e 32 grammi di ossigeno: insomma, se voglio che tutto l'idrogeno si combini con tutto l'ossigeno per formare acqua, devo prendere esattamente un peso di idrogeno eguale a un ottavo del peso di ossigeno.

E ciò accade *nella formazione di qualsiasi sostanza*: *i pesi degli elementi stanno tra loro in un rapporto costante.*

Questa legge, che si chiama *legge delle proporzioni costanti*, fu enunciata nel 1799 dal chimico inglese Proust, il quale diceva: « ... una sostanza composta è un essere che la Natura crea soltanto tenendo nelle mani una bilancia ».

La Natura è una cuoca molto più rigorosa e precisa della più precisa e rigorosa delle nostre cuoche.

La teoria atomistica

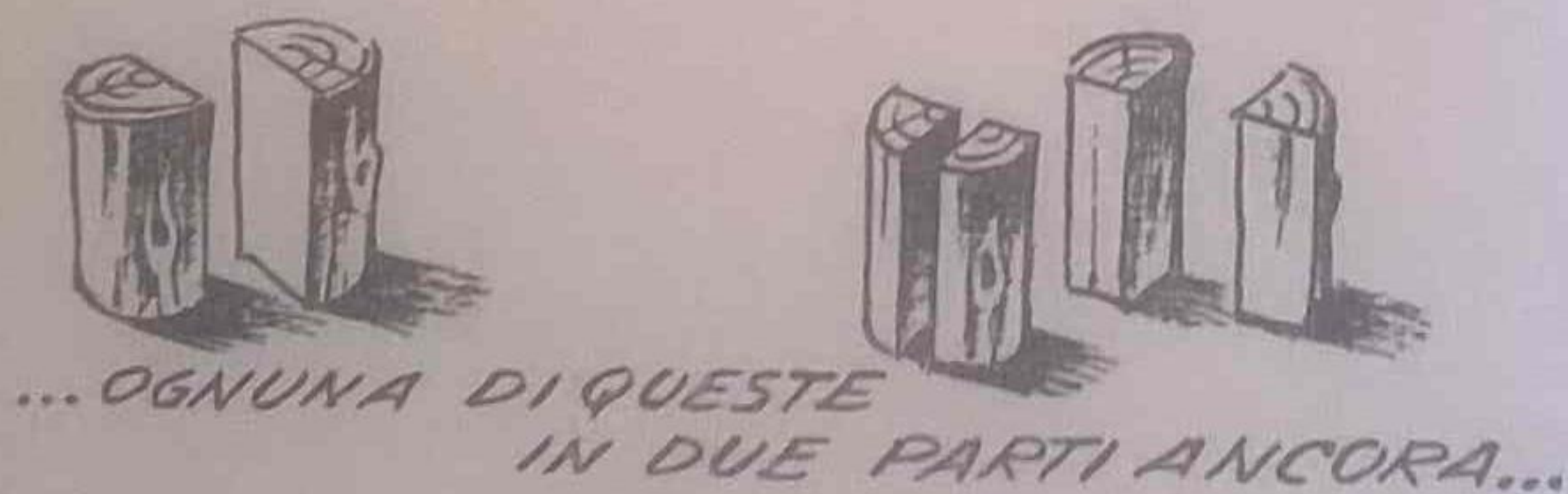
Come potete ben immaginare, i chimici rimasero molto meravigliati di questa strana legge e, naturalmente, si chiesero subito: perchè? Perchè avviene che i pesi degli elementi che si combinano a formare una sostanza stanno tra loro in un rapporto costante?

Per rispondere a questo perchè, l'inglese John Dalton nel 1803 propose, dinanzi alla « Literary and Phylosophical Society » di Manchester, una teoria che costituisce la base fondamentale della chimica moderna.

Non dovete pensare che il signor Dalton, punto dalla curiosità di penetrare un po' a fondo la legge di Proust, si sia un bel giorno seduto al tavolino e abbia, così di punto in bianco, costruito *ex novo* la sua teoria sulla costituzione della materia. Una cosa simile non accade mai: ogni nuova teoria si collega a una qualche teoria precedente e, utilizzando nuovi risultati, la modifica più o meno profondamente.

Già qualche annetto prima di Dalton, e precisamente 500 anni avanti Cristo, in Grecia un certo Leucippo (una vecchia conoscenza, vero?) aveva costruito una teoria sulla costituzione della materia, che fu, dopo una cinquantina d'anni, particolarmente sviluppata da Democrito di Abdera (un'altra vecchia conoscenza).

Questa teoria atomistica della materia era così affascinante che un poeta latino, Lucrezio, circa cinquecento anni più tardi, ci scrisse su nientemeno che un poema, il *De rerum natura*. Per quanto io sia sicuro che questo poema abbia costituito la lettura favorita dei vostri anni giovanili, pure voglio ora riprendere per sommi capi questa teoria atomistica.

Ecco dunque, in pochissime parole, di che cosa si tratta. Prendiamo un pezzo di materia qualsiasi; per fissare le idee, prendiamo un pezzo di legno. Io posso dividere questo pezzo di

legno in due parti, poi ognuna di queste in due parti ancora, e poi ognuno di questi pezzettini in due pezzetti più piccoli e così di seguito; a un certo punto mi dovrò fermare per la difficoltà materiale di dividere in due un pezzettino piccolissimo, ma teoricamente potrei continuare a dividere il legno in pezzetti sempre più piccoli.

Ora si pone la domanda: posso continuare questa operazione all'infinito? Cioè la materia è, teoricamente, suddivisibile fino all'infinito? Leucippo e Democrito rispondono: no, non posso pensare di poter continuare a suddividere la materia fino all'infinito; perchè essa è formata da numerosissime, piccolissime particelle solide che sono indivisibili. Quando, nelle mie divisioni successive, sono giunto a staccare l'una dall'altra queste particelle, di cui è costituita tutta la materia, mi devo fermare

perchè esse sono indivisibili. A queste particelle fu dato il nome di « atomi » (dal greco ἄτομος = indivisibile).

Questo è, in pochissime parole, il succo della teoria atomistica creata da un filosofo di circa duemila e cinquecento anni fa.

Il peso atomico degli elementi

Fu questa teoria filosofica che Dalton, nel 1803, riprese e alla quale diede basi scientifiche e forma logica.

Egli ammise che *tutti gli elementi chimici fossero costituiti da un grandissimo numero di particelle, indivisibili, le quali prendono il nome di atomi.*

Tutti gli atomi di uno stesso elemento sono identici tra loro: un atomo di idrogeno è identico a un altro atomo di idrogeno, in qualsiasi modo e dovunque questo idrogeno si sia formato; essendo eguali, tutti questi atomi hanno lo stesso peso. E così tutti gli atomi di un qualsiasi elemento hanno lo stesso peso; questo peso, naturalmente, è diverso da elemento a elemento. Penso che vi farebbe piacere sapere quanto pesa, più o meno, un atomo; e potrei accontentarvi dicendovi che un atomo di idrogeno, per esempio, pesa circa

$$\frac{1{,}6}{1.000.000.000.000.000.000.000.000} \text{ DI GRAMMO}$$

Ma sono convinto che questo numero vi dice ben poco e che ne deducete soltanto che, per pesare tanto poco, gli atomi devono essere veramente delle cosine piccine piccine.

Se tutti quegli zeri imbarazzano voi, che certamente non dovete fare un uso corrente dei pesi degli atomi nella vostra conversazione giornaliera, pensate quanto più essi imbarazzerebbero i chimici, per i quali questi pesi atomici costituiscono il pane quotidiano (duretto, no?); essi allora, per sbarazzarsi di tutti

quegli zeri, hanno fatto una cosa molto semplice: hanno cambiato unità di misura.

È questa una cosa che, come abbiamo notato già una volta, facciamo continuamente ogni giorno: se dobbiamo comprare un po' di bicarbonato per un dolce, non andiamo in farmacia a chiedere 0,000.004 tonnellate di bicarbonato, ma ne chiediamo semplicemente 4 grammi; mentre, se siamo incaricati di fare la provvista del carbone per il riscaldamento invernale, non ne ordiniamo 1.000.000 di grammi, ma una tonnellata. A seconda dello scopo, ci serviamo dell'unità di misura più adatta, per evitare anche noi di trascinarci dietro troppi zeri.

Ecco perchè i poveri chimici, per rendere un po' più manducabile quel loro duro pane quotidiano, hanno deciso di cambiare unità di misura. E precisamente essi hanno detto: « stabiliamo che il peso di un atomo di ossigeno sia eguale a 16 »; in questo modo la loro nuova unità di misura veniva ad essere eguale alla *sedicesima parte del peso atomico dell'ossigeno.*

Forse siete rimasti un po' strabiliati a questa strana scelta dei chimici: perchè hanno scelto proprio l'atomo di ossigeno? e perchè hanno posto il suo peso proprio eguale a 16 e non a un altro numero qualsiasi? Evidentemente hanno avuto le loro buone ragioni; una delle quali è che, dato che l'ossigeno si combina praticamente con tutti gli altri elementi, è molto comodo che il suo peso atomico sia espresso da un numero intero; e come numero intero è stato scelto 16 perchè, in questo modo, il peso atomico dell'idrogeno, che è il più leggero di tutti gli elementi, risulta praticamente eguale a 1 (più precisamente esso risulta eguale a 1.008).

Conoscendo poi il peso in grammi dell'atomo di ossigeno, è molto facile calcolare il peso atomico in grammi di qualsiasi altro elemento.

E così i chimici si sono liberati di quegli imbarazzantissimi zeri, che minacciavano sempre di perdersi per strada.

Venti cavalieri panciuti

Ma ritorniamo a Dalton e alla sua teoria. Dunque ogni elemento è costituito di atomi indivisibili i quali, per ogni elemento, sono identici e hanno quindi tutti lo stesso peso; questo peso varia da elemento a elemento. Che cosa accade quando un elemento si combina con un altro per formare un composto? Evidentemente questa combinazione ha origine dalla riunione degli atomi del primo elemento con gli atomi del secondo. Per esempio, quando idrogeno e ossigeno si combinano per formare acqua, sono gli atomi di idrogeno che si riuniscono agli atomi di ossigeno: essi formano così quelle che si chiamano le *molecole* di acqua, dato che si dà il nome di molecola all'aggregato di due o più atomi.

Spiegare la legge di Proust partendo da questa teoria, era soltanto un gioco da ragazzi. Ve la giustificherò con un esempio che, per quanto potrà sembrarvi un po' strano, è però abbastanza esplicativo. Immaginiamo di trovarci in una sala da ballo: musica allegra, ballerine eleganti e ballerini galanti; c'è soltanto una strana particolarità: tutte le dame e tutti i cavalieri hanno esattamente lo stesso peso. Immaginiamo che ogni dama pesi cinquanta chili e ogni cavaliere ne pesi cento; saranno cavalieri un po' troppo panciuti e ballerini non tanto leggeri, ma è necessario che le dame si accontentino perchè non hanno facoltà di scelta: o cavalieri peso-massimo o nulla.

Dunque la musica attacca un brillantissimo valzer, le coppie si formano e cominciano (un po' pesantemente) a volteggiare. Dato che i pesi delle dame e dei cavalieri sono costanti, sarà anche costante il peso della combinazione dama-cavaliere, cioè il peso di ogni coppia; qualunque sia la dama e qualunque sia il cavaliere, la coppia peserà 150 chili.

Se vogliamo che, durante il ballo, non resti a far da tappezzeria nessun cavaliere e nessuna dama isolata, bisogna naturalmente che il numero dei ballerini sia eguale al numero delle dame; per esempio con venti cavalieri, cioè con 2000 chili di cavalieri, e venti dame, cioè 1000 chili di dame, avremo esatta-

mente venti coppie. E avremo un numero esatto di coppie tutte le volte che il peso totale dei cavalieri sarà doppio del peso totale delle dame.

È questa proprio la legge di Proust: i cavalieri sono gli atomi di uno degli elementi componenti, le dame sono gli atomi dell'altro elemento componente e le coppie sono le molecole del composto; dal fatto che dame e cavalieri hanno peso costante e sono indivisibili (non possiamo far ballare mezza dama o un quarto di cavaliere) segue, come logica conseguenza, che, nella formazione di un numero esatto di coppie, i pesi dei cavalieri e delle dame stanno tra loro in un rapporto costante; nel nostro esempio il peso totale dei cavalieri deve essere *sempre* doppio del peso totale delle ballerine. E, parallelamente, dal fatto che gli atomi che costituiscono gli elementi hanno un peso costante e sono indivisibili (teoria atomica) segue, di conseguenza, la legge di Proust, la quale dice che: nella formazione di un qualsiasi composto, i pesi degli elementi componenti stanno tra loro in un rapporto costante.

Tutto ciò dimostra che, per capire una legge di chimica, non è sempre necessario star seduti tristi e sconsolati su un poco soffice banco di scuola, ma si può andare anche in una sala da ballo, tra dame eleganti e cavalieri galanti.

La legge delle proporzioni multiple

Poichè mi sembra che questa sala da ballo non vi dispiaccia affatto, vi propongo di trattenerci ancora un pochino. Il tempo passa, l'allegria aumenta, la musica si fa più sfrenata e i ballerini, sempre più eccitati, cominciano a intrecciare strane danze. Finora ogni cavaliere aveva ballato compostamente con una sola dama; ma ecco che ora ogni cavaliere si impadronisce di due dame e il terzetto balla; poi di tre dame, poi di quattro, poi di cinque... e i gruppetti saltellano per la sala, più o meno a tempo. Non scandalizzatevi! Mezzanotte è suonata da un pezzo e poi... qualche bicchierino...; via! non fate i barbosi pedagoghi

e afferrate anche voi a volo due o tre o quattro... di quelle graziose ballerine e lanciatevi nella mischia (a condizione, però, che anche voi pesiate 100 chili).

Certamente non vi siete meravigliati affatto che, nello spingervi ai bagordi, vi abbia invitato a ballare con una, due, tre o quattro... ballerine e non vi abbia invece detto: afferrate a volo una ballerina e mezzo, oppure due ballerine e un quinto oppure quattro ballerine e sette ottavi. Probabilmente se ve lo avessi detto, ne avreste senz'altro dato la colpa a qualche bicchierino di troppo; perchè, Dio mio!, chi è che non sa che una ballerina è qualche cosa di indivisibile e che non ha nessun senso parlare di mezza o di un quinto o di sette ottavi di ballerina?

DALTON

E, se vogliamo riprendere quello strano linguaggio di poco fa, possiamo dire che cento chili di cavaliere possono, per ballare, riunirsi a cinquanta o a cento o a centocinquanta o a duecento... chili di dama. Quindi, guardando quell'allegro salone, possiamo enunciare la legge: quando dame e cavalieri si riuniscono insieme a formare vari gruppi, i pesi complessivi di dama (cinquanta, cento, centocinquanta... chili) che si uniscono con uno *stesso* peso di cavaliere (cento chili) stanno tra loro in una semplice proporzione multipla. Infatti:

$$50 : 100 : 150 : 200 ... = 1 : 2 : 3 : 4 ...$$

Dalton, in verità, non stava ad osservare nessuna allegra sala da ballo, ma studiava invece la sua teoria atomica cercando di trarne varie conseguenze: e, studiando, giunse ad enunciare la sua *legge delle proporzioni multiple* la quale però, mutatis mutandis, è proprio la legge che abbiamo enunciato prima guardando l'allegro salone. Infatti se (ricordate?) i cavalieri sono gli atomi di uno degli elementi componenti, le dame gli atomi dell'altro componente e i gruppi di cavaliere e dama le molecole di vari composti, possiamo dire che: *quando due elementi si combinano per formare più di un composto, i* diversi *pesi di un elemento che si uniscono con uno* stesso *peso dell'altro elemento stanno tra loro in una semplice proporzione multipla;* cioè stanno tra loro come 1:2:3:4:...

E ora abbandonate le vostre ballerine, ricomponetevi e uscite pure all'aperto a snebbiarvi le idee.

L'ipotesi di Avogadro

Già il sole sorge, mentre noi lentamente camminiamo; sono sempre un po' tristi le ore che seguono i divertimenti mondani; ma questa dolce aria pura ci aiuta a liberarci da quel leggero scontento che ci resta in fondo dopo tanto ballare, tanto bere, tanto fumare... Ed eccoci in un prato ancora umido; è così infantilmente tenera quest'erba! E ci sorprendiamo fermi, con lo sguardo al suolo, a osservare inteneriti una fila di laboriose formiche.

Eccone un gruppo che spinge faticosamente avanti un grosso chicco di frumento; il lavoro procede lentamente, quando ecco che arriva una formica gigante, un vero campione di forza; afferra il chicco e gli fa fare un gran tratto di strada; poi, stanca, lo abbandona; e il chicco viene raccolto da un'altra formicona robusta che lo fa avanzare di un altro bel tratto; e poi ecco altre numerose formichine che lo sospingono pian piano;... e così, ora velocemente, ora piano, ora pianissimo, il chicco percorre la sua strada.

Accade un po' la stessa cosa per la scienza. Dopo che, magari per secoli, gli scienziati si sono affannati intorno a una teoria facendole (ahimè) percorrere ben poca strada, ecco una formicona robusta, che per esempio, si chiama Dalton (perdonatemi il paragone forse troppo poco rispettoso), il quale studia, ragiona esperimenta, trae conclusioni; e la scienza fa balzi da gigante; ma a un certo punto anche egli è costretto ad abbandonare il campo: ed ecco un'altra formicona che raccoglie la sua eredità e di volata fa percorrere al chicco — no, alla scienza — un cammino formidabile; e altre formichine, che le corrono dietro assestando il cammino un po' sconvolto, ricevono poi il gran peso e, faticosamente, faticosamente, lo spingono per un piccolissimo tratto...; e così a balzelloni, ora facendo salti da giganti ora trascinandosi a stento, la scienza percorre il suo arduo cammino.

AVOGADRO

La formicona, che raccolse il chicco dalle mani di Dalton, si chiamava Avogadro. Egli, modificando una delle ipotesi di Dalton, fece fare alla chimica uno di quei balzi da gigante di cui discorrevamo poc'anzi.

Secondo la storia di Dalton, come ormai ben sappiamo, tutti gli elementi sono costituiti, in ultima analisi, da quelle particelle indivisibili che si chiamano atomi. Ora — ed è questa l'ipotesi che più tardi Avogadro doveva modificare — Dalton ammetteva che *le particelle di tutti gli elementi allo stato libero fossero singoli atomi;* che, per esempio, l'idrogeno fosse un semplice insieme di atomi singoli di idrogeno, l'ossigeno un insieme di atomi singoli di ossigeno e così via.

Ma questa ipotesi portò ben presto i chimici a impelagarsi

in un gran numero di contraddizioni e di difficoltà; finchè nel 1811 l'italiano conte Amedeo Avogadro sostituì a questa un'altra ipotesi che fu pienamente confermata dall'esperienza e che gli permise di enunciare la sua celebre legge.

Dunque Avogadro ammise che non tutti gli elementi devono essere considerati come un aggregato di atomi singoli; ma che in molti di essi gli atomi sono così indissolubilmente legati in gruppi di diversi atomi ognuno, che *questi elementi devono essere considerati come costituiti da un insieme di molecole*, ognuna delle quali è formata da due o da tre o da quattro... atomi. Per esempio il mercurio, il sodio, lo zinco, il potassio... sono elementi costituiti da atomi singoli, cioè elementi monoatomici; l'idrogeno, l'ossigeno, il cloro, l'azoto... sono invece formati da molecole biatomiche (due atomi); le molecole del fosforo sono costituite da quattro atomi e quelle dello zolfo nientedimeno che da otto atomi.

Come vedete, ce n'è per tutti i gusti; altro che l'ipotesi semplicistica di Dalton!

Questa ipotesi di Avogadro non ebbe subito il meritato successo; ma fu accolta con molte riserve e rimase per lungo tempo ignorata. Ma i chimici furono puniti di questa incomprensione; perchè le difficoltà continuarono ad aumentare e le contraddizioni tra la teoria di Dalton e l'esperienza andarono moltiplicandosi; il garbuglio divenne tale che ne derivò un così gran senso di sfiducia nella attendibilità dell'ipotesi atomica che J. B. Dumas, caposcuola della chimica francese, giunse nel 1836 a scrivere che, se ne avesse avuto il potere, avrebbe cancellata la parola atomo dal vocabolario della scienza.

Evidentemente una grande tristezza pervadeva il campo dei chimici. E questo stato di cose si protrasse finchè nel 1860, cioè mezzo secolo dopo che Avogadro aveva enunciata la sua legge, i chimici delle varie nazioni si riunirono a Karlsruhe, in Germania, appunto per cercare di risolvere tanti grovigli e tante difficoltà. A tale riunione intervenne un giovane chimico italiano, Stanislao Cannizzaro, il quale, tra la sorpresa generale, espose con straordinaria chiarezza le sue idee coordinatrici; pose in pieno

valore l'ipotesi di Avogadro differenziando nettamente il concetto di molecola da quello di atomo.

Così le nubi si dispersero e per i chimici tornò a brillare in cielo il sole della speranza.

La questione degli zeri

Ed ora ci chiediamo: Quante molecole sono contenute in un litro di sostanza gassosa?

Vi dico subito che si tratta di un numero enormemente grande: e precisamente un litro di una qualsiasi sostanza gassosa contiene 27 mila miliardi di miliardi di molecole; una popolazione piuttosto fitta, non vi sembra? In un litro di sostanza gassosa vi sono tante molecole quante gocce d'acqua vi sono in tutti i mari di questa nostra Terra.

E ora una parentesi. Il numero 27 mila miliardi di miliardi si scrive

27.000.000.000.000.000.000.000

Ora, se voi pensate che di questo numero fanno continuamente uso nei loro calcoli i chimici, i fisici, gli astronomi, vi rendete subito conto che tutti quegli zeri da contare accuratamente ogni volta sono decisamente troppi.

E non è questo un inconveniente che si presenta soltanto in questo caso particolare. Tutte le volte che i chimici e i fisici parlano di atomi o di molecole o di altre piccole particelle, tutte le volte che parlano della loro massa o della loro carica elettrica, hanno a che fare, come vedremo ben presto, con numeri piccolissimi espressi da 0,0000...; e soltanto dopo un bel numero di zeri decimali arriva una piccola cifra.

Tutte le volte che gli astronomi parlano di distanze stellari, parlano di centinaia o di migliaia di milioni di milioni di chilometri; essi cioè devono far uso di numeri grandissimi che si espri-

mono con qualche cifra seguita da un grandissimo numero di zeri. Tutte le volte che i geologi parlano di periodi geologici, descrivono avvenimenti di milioni di milioni di anni fa... Come vedete, in tutti questi casi, e in moltissimi altri, tanti zeri, sia che si tratti di zeri decimali, sia che si tratti di zeri posti prima della virgola, sono non soltanto scomodi, ma anche pericolosi. È questa perciò una questione da risolvere una volta per tutte.

Ed è stata risolta molto semplicemente così.

Basta ricordare che (come ben sapete) $100 = 10^2$, $1000 = 10^3$, $10.000 = 10^4$...; che cioè ogni multiplo di 10 può essere scritto sotto forma di una potenza che ha per base 10 e per esponente il numero degli zeri che segue la cifra 1; così per esempio, il numero « dieci milioni di milioni » può essere scritto sotto forma di 10^{13} piuttosto che 10.000.000.000.000; il che, non vorrete negarlo, è molto più comodo e meno pericoloso. Se devo invece scrivere il numero 90 milioni di milioni ($=9 \times 10$ milioni di milioni), lo scriverò sotto forma di 9×10^{13}.

Se invece si tratta di numeri molto piccoli, cioè di numeri con molti zeri decimali, si fa una cosa del tutto analoga. Poichè

$$0{,}1 = \frac{1}{10} = 10^{-1} \text{ e } 0{,}01 = \frac{1}{100} = 10^{-2} \text{ e } 0{,}001 = \frac{1}{1000} = 10^{-3},$$

possiamo dire che ogni sottomultiplo di 10 può essere scritto sotto forma di una potenza che ha per base 10 e per esponente *negativo* il numero degli zeri che precede le cifre significative, compreso lo zero che precede la virgola. Così, per esempio, un decimilionesimo di milionesimo può essere scritto sotto la forma di 10^{-13} piuttosto che 0,000.000.000.000.1. E il numero, per esempio, 9 decimilionesi di milionesimi (0,000.000.000.000.9) potrà essere scritto sotto forma 9×10^{-13}.

Questa rappresentazione vi sembrerà forse, in principio, un po' difficile; ma, superato il primo sforzo iniziale, la troverete così comoda e immediata che ne diventerete anche voi, ne sono sicuro, entusiasti fautori.

La massa di una molecola

Ed ora chiudiamo la parentesi e ritorniamo a quella fitta popolazione che brulica in un litro di sostanza gassosa: 27 mila miliardi di miliardi di molecole, cioè (facendo subito uso delle chiacchiere di poc'anzi) 27×10^{21} molecole.

Credo che ben poche costanti fisiche e chimiche siano state dedotte in tanti modi diversi come questo numero che ha il nome di *numero di Avogadro*. Lo si è calcolato (naturalmente non posso dirvi come) dalla viscosità dei gas, dalla diffusione della luce solare nella atmosfera, che produce il color azzurro del cielo, dai fenomeni radioattivi, dai raggi calorifici... E ciò che è meraviglioso, tutti questi metodi, così diversi e così indipendenti l'uno dall'altro, hanno dato lo stesso risultato.

È questa la prova più indiscutibile che tutto ciò che ho raccontato finora non è nè una fantasia nè un'ipotesi, ma è realtà: nessuno può ora dubitare della reale esistenza degli atomi e delle molecole.

Penso che oramai vi piacerebbe sapere quale è la massa, più o meno, di una molecola; ebbene, una molecola d'acqua, per esempio, ha una massa di $2{,}98\times10^{-23}$ grammi, Come vedete, i componenti di quella popolazione sono piccini piccini.

Una molecola si perde nel nostro corpo quasi come il nostro corpo si perderebbe nel Sole.

Una agitazione caratteristicamente femminile

Che cosa fanno tutte queste molecole? Dio mio! Che cosa volete che facciano tanti esseri di natura femminile messi insieme? Faranno ciò che fanno, quando si trovano riunite, tutte le appartenenti a quel tanto vituperato e tanto amato sesso debole: si agiteranno senza posa. Proprio così: tutte le molecole che

costituiscono la materia non stanno mai ferme, ma si muovono continuamente.

Le molecole dei vari corpi però non si muovono tutte allo stesso modo; e vi avverto che uso la parola « corpo » nel senso in cui viene usata in fisica e in chimica, in cui si chiama « corpo » qualsiasi oggetto o porzione di materia. Dunque le molecole dei vari corpi si muovono in modo diverso. Può darsi che esse eseguano soltanto rapidissime vibrazioni intorno a una posizione di equilibrio, cioè che esse non si allontanino molto l'una dall'altra; e allora siamo in presenza di un corpo solido. Può darsi invece che esse possano allontanarsi anche di molto dalla loro posizione iniziale muovendosi nel corpo senza poterlo però abbandonare: ed ecco un corpo liquido. Può darsi infine che esse possano muoversi liberamente, che corrano in tutte le direzioni, occupando così tutto lo spazio che hanno a loro disposizione, urtandosi, deviando, riprendendo il cammino interrotto...; è questo un corpo gassoso.

Quando fa freddo però, le signore stanno più ferme, rincantucciate e infreddolite; e anche le molecole, quando la temperatura è più bassa, si agitano meno.

Dunque *le molecole di un corpo sono in continuo movimento: ma la loro velocità è tanto maggiore quanto più alta è la temperatura del corpo.*

Supponiamo, per esempio, di avere qui, in un ambiente a temperatura ordinaria, un pezzo di ferro (cioè un corpo solido), un recipiente contenente acqua (cioè un liquido) e un recipiente contenente ossigeno (un gas): le molecole del ferro vibrano, le molecole dell'acqua si muovono nell'interno del liquido e quelle dell'ossigeno corrono qua e là nel recipiente che le contiene, recipiente che, naturalmente, deve essere chiuso.

Riscaldiamo ora questi tre corpi: la loro temperatura aumenterà e, di conseguenza, le molecole del ferro vibreranno più rapidamente, quelle dell'acqua si muoveranno più veloci e quelle dell'ossigeno correranno più all'impazzata.

Il caldo favorisce l'agitazione, tipicamente femminile, delle signore molecole.

Seguiamo un po' più da vicino questa crescente vivacità molecolare; e, per far questo, prendiamo un pezzo di ghiaccio.

Poichè si tratta di un corpo solido, le varie molecole staranno (molto rinfreddolite) ognuna al suo posto, accontentandosi di eseguire rapide vibrazioni intorno a questa posizione. Ed ora riscaldiamo questo ghiaccio: i movimenti diventano più rapidi e più ampi, finchè le molecole riescono ad allontanarsi definitivamente dalla primitiva posizione di equilibrio e a muoversi con velocità crescente attraverso il corpo: il corpo solido ghiaccio si è trasformato in un corpo liquido: l'acqua.

Continuiamo a riscaldare questa acqua; la sua temperatura va sempre aumentando e, di conseguenza, il moto delle sue molecole si fa sempre più vorticoso finchè, quando la temperatura dell'acqua raggiunge i 100 gradi, queste molecole, per la grande energia acquistata, riescono a staccarsi l'una dall'altra, diventano indipendenti e si muovono liberamente, a grande velocità, in qualsiasi direzione: il corpo liquido acqua si è ora trasformato in un corpo gassoso (o, come si dovrebbe piuttosto dire, in un corpo aeriforme): il vapor d'acqua.

Ecco come le molecole dell'acqua riescono faticosamente a conquistare libertà e indipendenza.

Gli incruenti combattimenti di una molecola

Vediamo un po' quale uso le molecole di un gas fanno di questa libertà e indipendenza. Devo confessarvi che ne fanno un uso veramente smodato; in condizioni normali di temperatura, una molecola di ossigeno ha infatti la velocità di 400 metri al secondo, cioè di circa 1400 chilometri all'ora; confrontatela con la velocità di 1200 chilometri all'ora dei più moderni aeroplani a reazione e ditemi poi se questa agitazione della molecola di ossigeno non è veramente notevole.

Ho paura però che vi facciate un'idea falsa su quello che è il moto reale di una di queste molecole; perchè probabilmente immaginerete che se essa ora si trova qui, tra un secondo si trovi 400 metri più in là, tra due secondi 800 metri più lontano e che perciò ben presto scompaia all'orizzonte. Invece no; se una

molecola di ossigeno si trova ora qui, tra un secondo si troverà ancora qui, lontana soltanto pochi millesimi di millimetro dalla sua posizione di partenza.

Che cosa ha fatto in questo secondo la molecola di ossigeno, invece di percorrere tranquillamente, se pure velocemente, i suoi 400 metri? Essa ha combattuto contro le altre molecole che le sono intorno: ha cozzato violentemente, ha rimbalzato, ha deviato e, mentre appena si lanciava nella nuova direzione, ha cozzato ancora, ha rimbalzato, ha deviato... E tra cozzi, rimbalzi e deviazioni è trascorso il secondo: alla fine, pur essendosi mossa alla velocità di 400 metri al secondo, la povera, affannata molecola è ancora quasi al punto di partenza. E così passa il secondo successivo e così passa il terzo...

Proseguendo di questo passo, ogni molecola di un gas riesce a fare, in definitiva, ben poca strada; ciò non toglie che l'interno di un recipiente contenente gas sia sede di un silenzioso, caotico tumulto.

I nemici contro cui una molecola si azzuffa non sono soltanto le altre molecole del gas; esiste un nemico ben più grande e ben più irremovibile; questo nemico è la parete del recipiente in cui il gas è contenuto. Contro questa parete le molecole vanno a sbattere continuamente; e poichè il numero di queste molecole è enorme (se ricordate, 27×10^{21} in un litro di gas) gli urti contro le pareti sono tanto fitti che si possono considerare continui; in pratica tutti questi urti fittissimi si manifesteranno come una spinta continua che il gas esercita sulle pareti del recipiente.

Non dovete credere che questa pressione sia una nuova conoscenza; forse inconsapevolmente, ve ne servite tutti i giorni. Possedete una bicicletta o, molto più fortunati, una automobile? Ve ne servite molleggiandovi comodamente sulle gomme ben gonfie? Ebbene questo comodo molleggiare è proprio merito di quella pressione: le molecole dell'aria compressa che si trova nella gomma, la bombardano dall'interno di urti tanto fitti e numerosi che non soltanto la gomma si mantiene ben gonfia e tesa ma riesce a sopportare il peso della bicicletta (o dell'automobile) e il vostro peso, anche se non siete troppo leggeri.

Come ho detto, questi movimenti delle molecole esistono anche in un liquido, per quanto diversi. Forse può sembrare im-

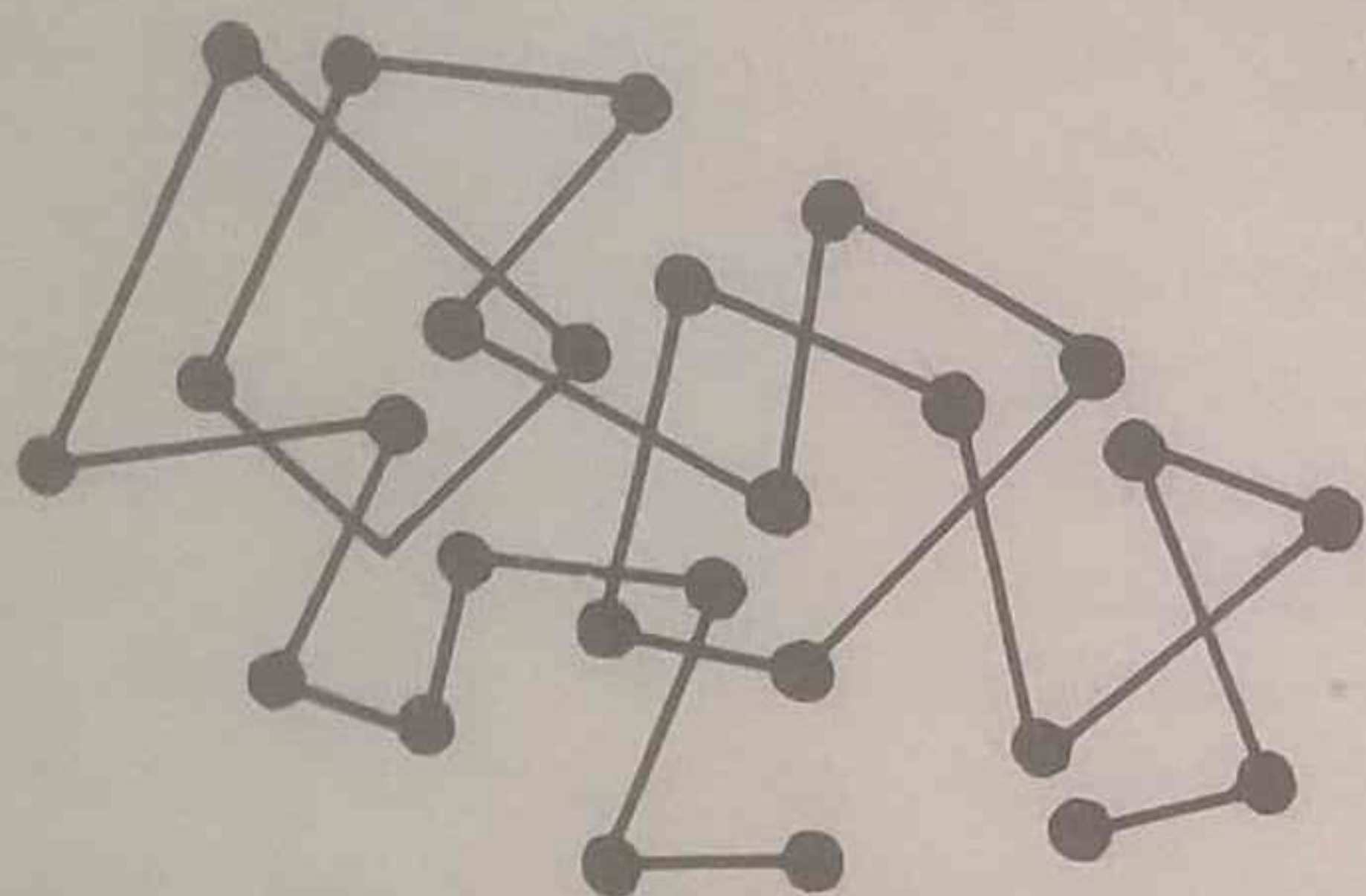
possibile che il moto di una molecola possa essere più... contrastato, per così dire, di quanto non lo sia il moto di una molecola di un gas; ma questa, almeno, riesce a percorrere in pace qualche piccolissimo tratto, dopo il quale però, inevitabilmente, va a urtare contro un'altra molecola o contro una qualche parete del recipiente. Una molecola di un liquido invece non riesce a percorrere nemmeno questo piccolissimo tratto; perchè in un liquido le molecole sono tanto vicine le une alle altre che non vi è assolutamente spazio per muoversi e l'unico modo che esse hanno a disposizione per agitarsi è di scivolare una sull'altra.

È proprio ciò che accade se ci si trova in una strada affollata: se le persone non sono troppe, si può procedere facendo un passo in qua, due in là, poi tre passi avanti, magari uno indietro, urtando ogni volta un'altra persona o un muro; ma, bene o male, si riesce a percorrere dei piccolissimi tratti senza urtare nessuno. Ma se la folla è molto, molto fitta (come quella che gremisce un tram in un'ora di punta), ci si deve accontentare di scivolare tra una persona e l'altra e, qualche volta, tra le persone e il muro. Nel primo caso ci trovavamo in un gas. ora ci troviamo in un liquido.

Il moto di Brown

Per quanto grande sia la fiducia che tutti nutriamo per gli scienziati e per le loro affermazioni, è forse ancora maggiore la fiducia che abbiamo nei nostri occhi. Ecco perchè ora vi racconterò (dato che, per evidenti ragioni, sono nella impossibilità di mostrarla direttamente) l'esperienza che il botanico inglese Brown fece nel 1829 e che pone in evidenza l'agitazione delle molecole di un liquido. Più recentemente sono state eseguite esperienze analoghe anche per i gas.

Guardiamo un liquido fermo in un recipiente; nulla di più fallace di questa apparente immobilità. In realtà le sue molecole si muovono continuamente e soltanto la grossolanità dei nostri sensi ci impedisce di accorgerci di questa perenne agitazione. Sia-

mo nelle condizioni in cui si trova un uomo che, da lontano, guardi il mare; egli vede una grande, unita, calma distesa azzurra; ma se fissa la sua attenzione su di un battello che si trovi al largo, lo vede ondeggiare, vede la sua prua alzarsi e abbassarsi ritmicamente. Questo ondeggiamento del battello gli rivela una agitazione del mare che egli, guardando quella distesa azzurra così unita e così calma, non aveva fino allora sospettato.

MOTO BROWNIANO

Non possiamo allora cercare di metterci anche noi nelle condizioni in cui si trova quell'uomo che è tanto lontano dal mare da non potere accorgersi direttamente delle onde che lo sconvolgono? Non possiamo sperare di trovare qualche cosa che, come quel battello, faccia da intermediario tra i nostri sensi e l'agitazione molecolare? Questo qualche cosa dovrà essere abbastanza grande per essere visto da noi (magari con l'aiuto del microscopio) e abbastanza piccolo per potere risentire gli urti delle molecole.

Ebbene, è proprio questo che fece Brown. Egli pose in un liquido alcune piccolissime particelle e le esaminò al microscopio; ed ecco che ognuna di queste, invece di cadere regolarmente verso il fondo, si mostra animata da un movimento vivo e disordinato: va e viene girando su se stessa, sale, discende, risale ancora... E questo moto non si arresta mai: esso è eterno e spontaneo; si manifesta anche nelle inclusioni liquide racchiuse nel quarzo da migliaia di anni. Questo moto è stato chiamato, in onore di Brown, *moto browniano*.

Non si deve pensare che l'agitazione di queste particelle sia qualche cosa di simile al movimento del pulviscolo atmosferico che, in un raggio di sole, vediamo spostarsi sotto l'azione di correnti d'aria provocate da piccole differenze di pressione o di temperatura. In questo caso molte particelle vicine si muovono quasi nello stesso senso e, più o meno, disegnano la forma di quelle

correnti di aria. Invece nell'agitazione delle particelle solide sospese in un liquido, vi è indipendenza completa tra i movimenti di due particelle, anche se esse sono vicinissime.

Quale è la ragione del moto di Brown, cioè quale è la ragione di questo vivace movimento irregolare ed eterno da cui sono animate le piccolissime particelle solide che lasciamo cadere in un liquido? Come una piccola barca, sballottata dalle onde di un mare in tempesta, si inabissa, sbanda da un lato, gira su se stessa, così ognuna di queste particelle, urtata senza cessa dalle molecole del liquido che si muovono in tutte le direzioni, viene sballottata senza pietà e noi la vediamo salire, discendere, girare su se stessa, risalire ancora...

I movimenti di queste particelle non sono per noi che uno specchio un po' grossolano nel quale vediamo riflettersi gli eterni e irregolari movimenti delle molecole del liquido.

Il tenore di vita di una molecola di aria

Già sappiamo quale è, più o meno, la massa di una molecola; se ricordate abbiamo calcolato che essa è di circa 10^{-23} grammi. Eccovi ora, in poche parole, altri dati i quali permettono di penetrare un po' più a fondo nella conoscenza di una molecola e del suo tenore di vita.

Ognuna delle molecole dell'aria che respiriamo si muove con la velocità di una palla di fucile, percorre in linea retta, tra due urti, quasi un decimillesimo di millimetro e viene deviata dalla sua corsa 5 miliardi di volte al secondo; in un centimetro cubo di aria, in condizioni normali, ve ne sono 30 miliardi di miliardi; per fare la lunghezza di un millimetro bisogna porne in fila, l'una accanto all'altra, 3 milioni; per fare il peso di un miliardesimo di milligrammo bisogna riunirne 20 miliardi.

Sono queste le caratteristiche di una molecola dell'aria nella quale siamo immersi, di quell'aria che seduce i poeti per la sua azzurra immobilità.

In un centimetro cubo di aria sono contenute, dunque, 30 miliardi di miliardi di molecole, cioè 3×10^{19} molecole. Prendiamo ora la più potente pompa a vuoto che si conosca e facciamo, in questo centimetro cubo, il vuoto più spinto che l'uomo sia capace di fare; ebbene, in questo vuoto spinto formicolano ancora circa 10 miliardi di molecole, le quali, ora, possono (finalmente!) muoversi un pochino più a loro agio.

Non so se vi state chiedendo come sia stato possibile determinare tanto esattamente la velocità di una molecola, il numero di urti che essa subisce in un secondo, lo spazio che riesce a percorrere tra due urti..., dal momento che nel caso più favorevole, cioè nel vuoto più spinto che l'uomo riesca a produrre, ci si trova ancora davanti a un formicolante sciame di miliardi di molecole; dal momento che mai uno scienziato ha potuto sedersi comodamente dinanzi a una sola molecola dicendosi: « oh! determiniamo la velocità di questa molecola, vediamo un po' come essa si muove... ». Ebbene vi dirò una cosa stranissima: è stato possibile determinare con relativa facilità le leggi secondo le quali si muove una molecola di un gas, appunto perchè non si è osservata mai una sola molecola ma si sono studiati soltanto sciami di miliardi di molecole.

Sento il dovere di spiegare questa mia curiosa affermazione; e mi spiegherò con un esempio. Un giorno, per fare uno studio sulla condizione alimentare di un paese, fu calcolato quanti polli consumava una certa popolazione; e fu trovato che ogni individuo mangiava un pollo e mezzo alla settimana. Ciò non voleva dire, naturalmente, che ognuno mangiasse effettivamente un pollo e mezzo alla settimana; c'era il disgraziato che non aveva mai visto un pollo cotto in tutta la sua vita tranne che nelle vetrine delle rosticcerie; e c'era invece l'individuo (disgraziato anch'esso, da un altro punto di vista) il quale era costretto a mangiare pollo a pranzo e a cena fino ad averne la nausea. Ciò non toglie che, in media, ogni individuo di quella popolazione mangiasse un pollo e mezzo alla settimana.

Sono queste le sorprese dei grandissimi numeri: quando si fa la statistica di un grandissimo numero di individui (siano essi i componenti di una popolazione o le molecole di un gas),

spariscono le fluttuazioni individuali, le quali vengono sostituite da una legge regolare.

È proprio ciò che è stato fatto nel caso delle molecole di un gas. Se noi ci proponessimo di studiare il comportamento delle singole molecole, una per una, ci troveremmo dinanzi a un problema insolubile, poichè il suo percorso è deviato in maniera disordinata e irregolare e la sua traiettoria è terribilmente intricata. Ma se si fa la media su un numero grandissimo di molecole, le irregolarità si attenuano e si riescono a determinare con relativa facilità le leggi alle quali ubbiscono i gas.

Perciò quando, per esempio, ho detto che una molecola di aria percorre in linea retta, tra due urti, un decimillesimo di millimetro, non ho voluto dire che *in realtà* ogni molecola percorra effettivamente questo spazio tra un urto e l'altro; vi sarà la molecola che appena subìto un urto cozzerà immediatamente con un'altra molecola e ve ne sarà un'altra che, più fortunata, potrà percorrere tranquillamente uno spazio anche molto più lungo. In media però una molecola di aria percorre, tra due urti, un decimillesimo di millimetro.

Avere a che fare con un grandissimo numero di molecole, ha reso possibile la determinazione del loro comportamento.

Ed ora che conosciamo un pochino più a fondo queste molecole, ora che conosciamo il loro tenore di vita e le loro proprietà, soffermiamoci a considerarle più addentro. Già sappiamo che ogni molecola è costituita di atomi; ebbene è agli atomi che rivolgeremo ora la nostra attenzione per conoscerne l'intima struttura.

L'ATOMO E LE SUE RADIAZIONI

Pericoli e delusioni di un nome

La scelta dei nomi, al momento del battesimo, è una questione molto delicata perchè, secondo me, sarebbe meglio non compromettersi troppo.

Avete mai conosciuto un uomo che si chiami Leone e che sta invece lì, esile e timido, assolutamente incapace di affrontare la vita e le sue molteplici peripezie? O un Adone del tutto sfornito di grazia e di bellezza? È meglio essere molto prudenti al momento di dare un nome a un piccolo bimbo; un nome è un marchio che resta per tutta una vita e, qualche volta, può anche divenire un peso molto grave.

Anche l'atomo, con il passar degli anni, non si è mostrato degno del suo nome. « Atomo » vuol dire « indivisibile », e invece... altro che indivisibile! Ma, oramai, atomo è stato battezzato e atomo resterà *in saecula saeculorum*.

Fino alla seconda metà del secolo scorso però, l'atomo aveva con fierezza mantenuto ben alto il suo nome. Ma ecco che

lo studio di alcuni fenomeni di natura elettrica provoca il misero crollo di quella fierezza, mettendo in luce l'esistenza di piccolissime particelle cariche elettricamente, *particelle che sono più piccole di un atomo* e che un atomo *emette* in condizioni particolari.

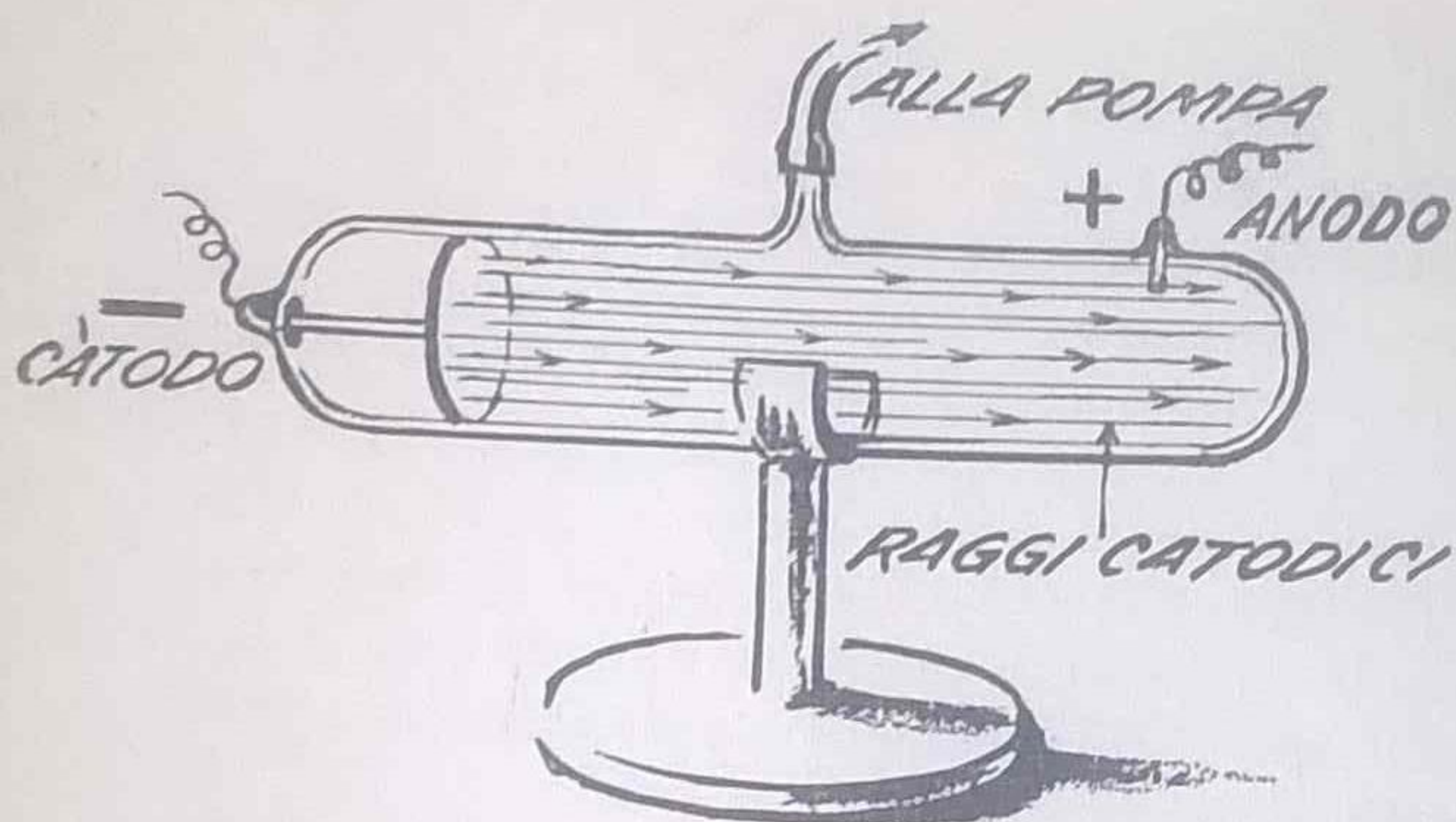
Se in una giornata di gran vento, passando sotto una casa, ricevete in testa un pezzetto di cornicione (ho detto soltanto « un pezzetto »), voi, se siete ancora in grado di ragionare, pensate: questo pezzetto di cornicione faceva parte di quella casa. Analogamente i fisici, assistendo all'emissione di particelle più piccole di un atomo, emesse dall'atomo stesso, furono costretti a concludere: queste particelle facevano parte di quell'atomo; quindi l'atomo non è indivisibile, quindi esso è indegno del suo nome.

Il tubo di Crookes

Ecco, un po' in dettaglio, come si sono svolte le cose.

Già dopo alcune celebri esperienze di Faraday, le acque della indivisibilità atomica avevano cominciato a intorbidarsi leggermente; ma i fisici non fecero subito attenzione a questo tenue intorbidamento, tutti intenti come erano ad arzigogolare sull'etere, la luce e le onde elettromagnetiche. Ma nel 1879 il signor Crookes si mise diligentemente a studiare un fenomeno che rese l'argomento di grande attualità; il signor Crookes studiò i raggi catodici: non spaventatevi della parola e vedrete che è la cosa più semplice del mondo.

Prendiamo un tubo chiuso di vetro nel quale si trovi un gas (per esempio aria) molto, molto rarefatto. Saldati al tubo si trovano i due estremi di un generatore di corrente: il polo positivo e il polo negativo o, come dicono i fisici (con la loro mania di usare parole difficili), l'anodo e il catodo. Nell'interno del tubo avviene una scarica elettrica.

Questo tubo è, sicuramente, una vecchia conoscenza. Quei tubi luminosi, dei più vari colori (rosso acceso o verde brillante

o bleu o arancione...) che, nel buio della notte, sui negozi o sulle facciate delle case, disegnano, con eleganti volute e ghirigori, parole e frasi che vogliono essere suggestive, quei tubi che brillano di luce fissa o, per essere ancora più suggestivi, si spengono e si accendono ritmicamente, non sono che i fratelli gagà del piccolo e modesto tubo del signor Crookes. Infatti essi sono costituiti da un tubo chiuso di vetro della forma adatta (con tutte le volute e i ghirigori che vi fanno piacere) al quale sono saldati i due estremi di un generatore di corrente; il tubo è pieno di un gas. E a seconda del colore che desiderate varia il tipo di gas: desiderate un bel rosso? Mettete nel tubo un po' di neon ed eccovi serviti.

Ma torniamo al semplice tubo, dinanzi al quale stavamo con il signor Crookes osservando la scarica che avveniva tra l'anodo e il catodo.

Tutto andava secondo le previsioni, quando il signor Crookes si accorse di una cosa strana: sulla parete del tubo che si trovava di fronte al catodo, e proprio allineata con questo, notò una piccola macchia fluorescente che scompariva quando si faceva cessare la scarica. E ne concluse che, durante la scarica, partiva dal catodo un fascetto di raggi paralleli che, colpendo la parete del tubo, la rendevano fluorescente; e, poichè partivano dal catodo, questi raggi furono chiamati *raggi catodici*.

Ma non era sufficiente dare un nome a questi raggi per poter dire di conoscerli veramente; era anche necessario sapere che cosa

fossero, di che cosa fossero costituiti. Si trattava di raggi dello stesso tipo delle radiazioni elettromagnetiche (luce, raggi ultravioletti...), cioè erano radiazioni di natura *ondulatoria*, oppure si trattava, per così dire, di una pioggia di *corpuscoli* che, durante la scarica, venivano emessi dal catodo e andavano a sbattere sulla parete del tubo rendendola fluorescente?

La questione era molto grave e diversi fisici, incuriositi, cominciarono a fare esperienze varie; si giunse così, senza possibilità di dubbio, a una conclusione che, in verità, era stata già suggerita da Crookes; e cioè che: i raggi catodici sono un flusso di *particelle* che hanno una carica elettrica negativa e che sfuggono dal catodo durante la scarica.

Gli elettroni

E la curiosità aumentò. Che razza di particelle sono queste? Quale è la loro massa? Esse hanno una carica elettrica negativa: ma quale è il valore di questa carica? Gli interrogativi si incrociavano.

Non temiate che io voglia raccontarvi come si giunse a dare una risposta a tutte queste domande; vi dico soltanto che vi si giunse per mezzo di esperienze meravigliose e delicatissime, che sono rimaste celebri nella storia della fisica.

Questi misteriosi corpuscoli emessi dal catodo sono tutti eguali tra loro e sono sempre gli stessi qualunque sia la sostanza di cui è fatto il catodo e qualunque sia il gas contenuto nel tubo. E — cosa straordinaria — sono molto più leggeri del più leggero atomo conosciuto; e precisamente ognuna di queste particelle è circa 1800 volte più leggera di un atomo di idrogeno. E la carica elettrica (negativa) che ognuna di esse trasporta è la più piccola carica esistente in natura.

La più piccola massa e la più piccola carica... se si aggiunge che questi corpuscoli possono essere prodotti a spese di qualsiasi materia, cioè di qualsiasi atomo, si giunge naturalmente

alla conclusione che *essi sono un costituente universale di tutti gli atomi*: a questi nuovi piccolissimi ma sorprendenti corpuscoli fu dato il nome di *elettroni*.

Fu così che crollò il mito della indivisibilità dell'atomo.

Vi piacerebbe vedere qualche elettrone? È presto fatto.

Alziamo gli occhi alla lampada che, in questa gelida sera invernale, illumina il nostro tavolo, dinanzi al quale stiamo chiacchierando piuttosto intabarrati e infreddoliti. Guardiamo il filamento di quella lampadina...: ecco quanti elettroni volete: elettroni a profusione, elettroni a milioni. Perchè nel filamento di una lampadina di 50 watt passano $2,5 \times 10^{18}$ elettroni al secondo, cioè 2,5 miliardi di miliardi.

Ed elettroni sfuggono da un metallo quando esso è arroventato o è colpito da luce ultravioletta; ed elettroni sono emessi spontaneamente dalle sostanze radioattive; e grandi sciami di elettroni provenienti dal Sole vengono a colpire l'atmosfera terrestre provocando le aurore boreali. Insomma elettroni dovunque: in alto, a destra, a sinistra, avanti, dietro...

E tutti questi elettroni delle più disparate provenienze sono sempre identici tra loro e assolutamente indistinguibili l'uno dall'altro.

Un filo logico che mai si tronca

Neppure per un attimo i fisici pensarono che l'atomo fosse costituito di soli elettroni; e questo per una ragione molto semplice.

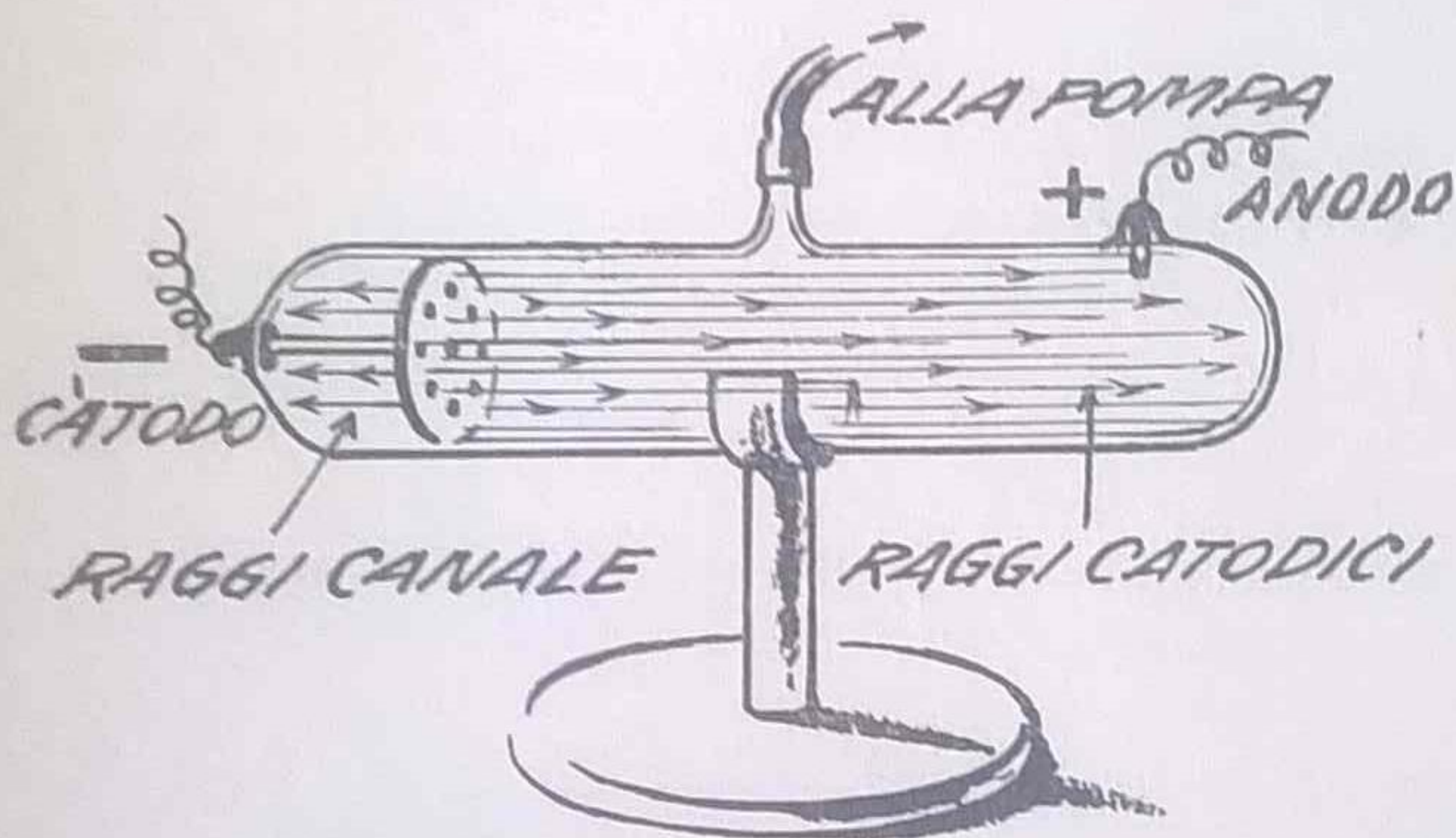
In condizioni normali, un atomo non possiede nè una carica elettrica positiva nè una carica elettrica negativa; esso è neutro. E poichè gli elettroni sono carichi negativamente, necessariamente nell'interno di un atomo deve esistere anche una carica positiva, in quantità tale da equilibrare esattamente le cariche negative portate dagli elettroni. Ma chi è che porta questa carica positiva? Il tubo del signor Crookes, leggermente modificato, rispose anche a questa domanda.

Vedete bene che tutti i piccoli, faticosi passetti, che, uno dietro l'altro, portano lentamente la scienza verso la sua meta che non è definita e che arretra sempre, tutti questi piccoli passetti sono sempre collegati l'uno all'altro da un rigoroso filo logico. Quando poi, a distanza di anni o di secoli, si guarda questo cammino e, con il pensiero, lo si ripercorre a grandi tappe, questo filo logico può anche non apparire evidente; e qualche volta ci si meraviglia che, a un certo punto, uno scienziato abbia risolto un certo problema in un modo che ci appare del tutto imprevisto, quasi che, un bel giorno, egli si sia seduto al tavolino e così, di punto in bianco, abbia creato una nuova teoria o fatto una fondamentale scoperta; ma il lavoro di ognuno è strettamente legato al lavoro di tutti coloro che lo precedettero, ogni teoria è la logica conseguenza di tutte le teorie e le esperienze precedenti. Di tanto in tanto una mente geniale crea una nuova teoria rivoluzionaria; ma essa era necessaria per comporre un dissidio tra le teorie precedenti e l'esperienza, essa era necessaria per comporre in un tutto armonico molti dati sperimentali che, alla luce delle teorie precedenti, apparivano slegati ed estranei.

La teoria rivoluzionaria di Copernico sul sistema planetario, la quale portava la Terra al ruolo di un qualsiasi altro pianeta, togliendola dalla sua posizione centrale di privilegio e facendola ruotare con gli altri pianeti intorno al Sole fisso, venne a risolvere una situazione che poco per volta era diventata paurosa; perchè l'ipotesi che intorno alla Terra, ferma, ruotassero il Sole e tutti gli altri pianeti, aveva, con l'accumularsi delle osservazioni, portato a un tale groviglio di complicazioni e di difficoltà, che essa era diventata veramente insostenibile; la teoria geniale di Copernico fece dileguare tutte le complicazioni e tutte le difficoltà.

Una grande mente osserva, ragiona, intuisce, crea; ma questa creazione non avviene improvvisamente dal nulla; essa ha come necessaria premessa tutto il lavoro, tutte le esperienze, tutte le teorie, errate e giuste, che la precedettero.

I portatori della carica elettrica positiva

Ma ritorniamo al tubo del signor Crookes e vediamo come esso, con una piccola modifica, permise di dare una prima, per quanto incompleta, risposta alla domanda: chi è che, in un atomo, porta la carica elettrica positiva?

Dunque ecco di nuovo quel tubo chiuso di vetro, nel quale sono saldati un anodo e un catodo; questo catodo però (ed è questa la piccola modifica) è ora forato in diversi punti. Ebbene, quando tra l'anodo e il catodo avviene la scarica, nella parte sinistra del tubo, dietro il catodo, si osservano alcuni stretti fasci luminosi, ognuno dei quali esce da una delle aperture del catodo. Badate bene: « dietro il catodo ». Questi raggi non hanno nulla a che fare con i raggi catodici che partono *dal* catodo e si precipitano verso *destra*, contro la parete di fondo del tubo. Questi nuovi raggi invece si formano nel gas che si trova tra il catodo e l'anodo e si precipitano *sul* catodo; se questo è forato attraversano i fori e passano nella parte *sinistra* del tubo.

Anche questi raggi, che sono stati chiamati *raggi canale* appunto perchè si incanalano nelle aperture del catodo, sono formati da un gran numero di corpuscoli.

Ma la differenza tra questi corpuscoli e quelli che costituiscono i raggi catodici, non è soltanto nella strada che essi percorrono nel tubo; la differenza è sostanziale. Mentre la parete del tubo, colpita dai raggi catodici, dà *sempre* un colore verdastro qualunque sia il gas che si trova nel tubo, il colore della luce prodotta dai raggi canale dietro il catodo *dipende* dal gas contenuto nel tubo: l'aria dà una luminescenza azzurrastra, l'idrogeno rosa, il neon dà una viva luce rossa, ecc...

Mentre i corpuscoli che costituiscono i raggi catodici — gli elettroni — hanno sempre la *stessa* massa (che è circa 1800 volte minore della massa dell'atomo di idrogeno) qualunque sia il gas, questi corpuscoli dei raggi canale hanno una massa che è *diversa* a seconda del gas contenuto nel tubo; anzi la massa di ognuno di questi corpuscoli è quasi eguale alla massa dell'atomo del particolare gas che si sta studiando. Se nel tubo c'è idrogeno, ogni corpuscolo dei raggi canale ha una massa che è quasi eguale alla massa dell'atomo di idrogeno; se c'è neon, ecco corpuscoli la cui massa è quasi eguale a quella degli atomi di neon...

Infine, mentre gli elettroni hanno una carica elettrica *negativa* che è sempre la stessa, i corpuscoli dei raggi canale sono carichi *positivamente*; e questa carica (positiva) è *diversa* a seconda del particolare elemento che si studia (idrogeno, neon...) per quanto il suo valore sia sempre multiplo della carica elettrica portata da un elettrone.

Corpuscoli più piccoli degli atomi e carichi positivamente... Ecco; è proprio ciò che cercavamo; sono proprio essi quei corpuscoli portatori della carica elettrica positiva che necessariamente deve trovarsi in un atomo; sono proprio essi che, con la loro carica positiva, fanno equilibrio alla carica elettrica negativa portata dagli elettroni.

Tirando le somme

Ed ora, dopo queste varie esperienze, tiriamo un po' le somme e vediamo che cosa si può concludere da tutti i dati che abbiamo così faticosamente raccolto.

Dunque un atomo di un qualsiasi elemento deve essere costituito da una particella che porta una carica positiva, la cui massa è quasi eguale alla massa dell'atomo, e da tanti elettroni, tutti identici tra loro, ognuno dei quali ha una massa piccolissima, quasi trascurabile, e una carica elettrica negativa, che è la più piccola che si trovi in natura; la carica positiva deve essere eguale alla somma delle cariche negative di tutti gli elettroni, in modo che l'atomo, nel suo insieme, ci appaia elettricamente neutro.

E ora vi consiglio un po' di riposo; un po' di riposo per digerire tutte queste chiacchiere, dalle quali, altrimenti, minacciate di rimanere sommersi. Non pretenderete di percorrere in un sol giorno e tutto d'un fiato quella strada che gli scienziati hanno tracciato con anni e anni e anni di duro lavoro!

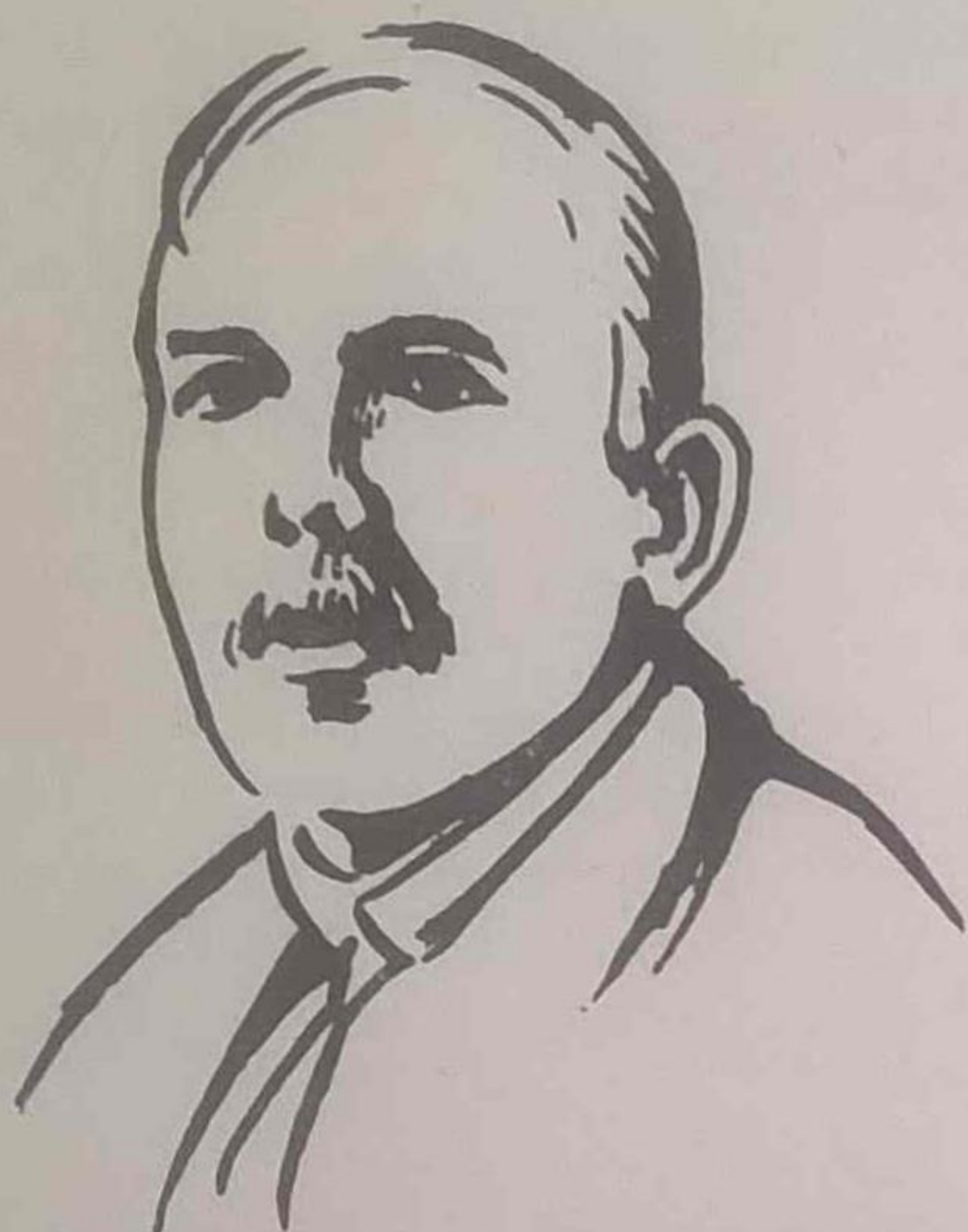
L'atomo-frutto

Un atomo, dunque, è formato da una particella pesante che porta la carica elettrica positiva e da diversi elettroni carichi negativamente.

Ma come sono disposti, nell'atomo, questa carica positiva e questi elettroni?

E qui, al solito, i fisici cominciarono a fare qualche ipotesi e a vedere se essa venisse confermata dall'esperienza. Per primo il fisico inglese J. J. Thompson suppose che un atomo fosse costituito da una sfera di elettricità positiva distribuita uniformemente, nell'interno della quale fossero immersi, qua e là, gli elettroni; qualche cosa di simile a un frutto che racchiude nel suo interno, sparsi qua e là, i semi.

Sarebbe grazioso che un atomo fosse fatto come un frutto piccolo, piccolo, con i suoi semini. Ma invece — mi dispiace — un altro grande fisico, il neozelandese Rutherford, dimostrò, con numerose esperienze, che questa ipotesi dell'atomo-frutto era insostenibile.

Rutherford è un nome molto familiare e caro a tutti i fisici

RUTHERFORD

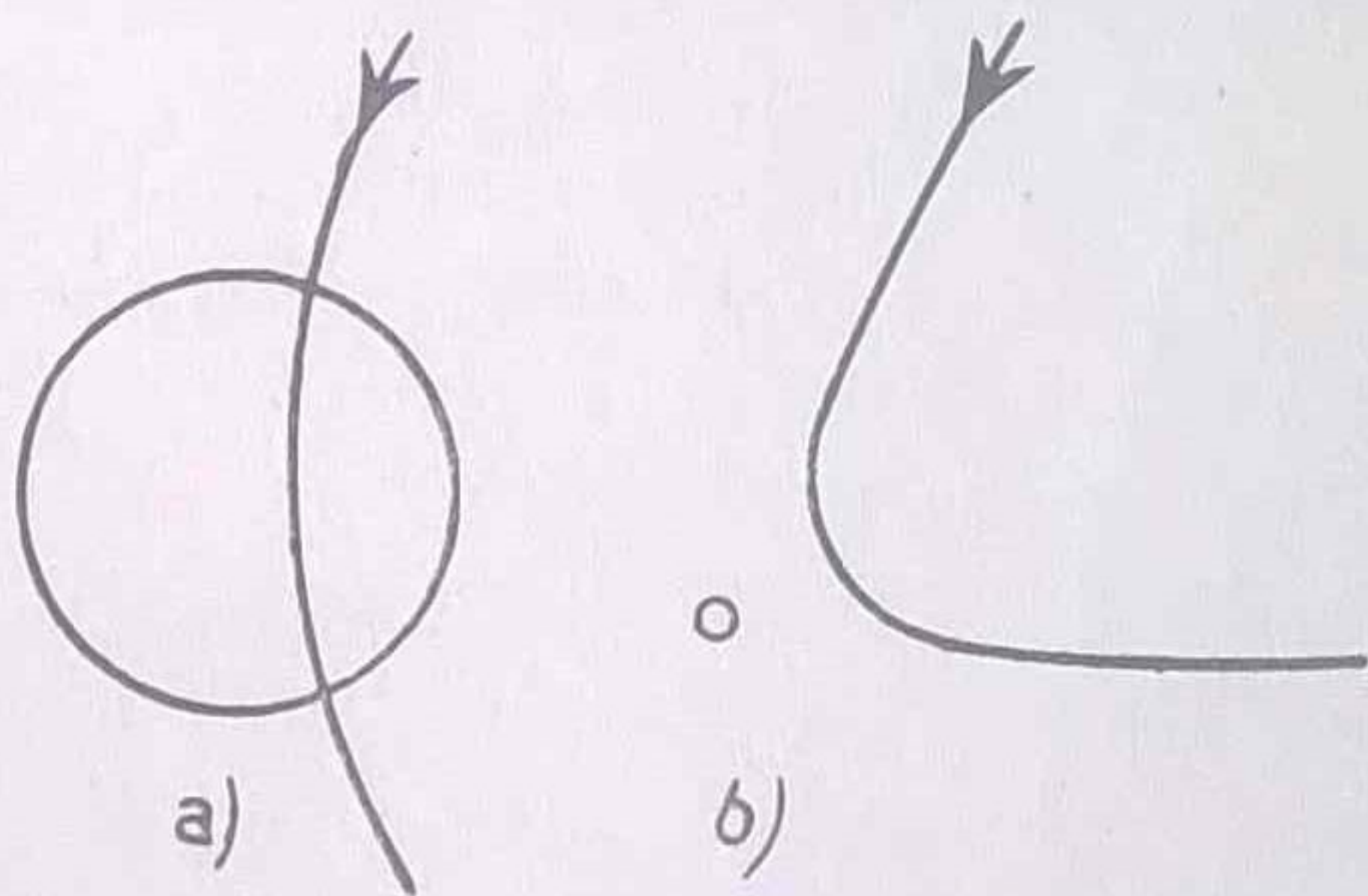
di oggi; poichè egli è uno dei fondatori della fisica atomica moderna. Per i suoi meriti scientifici, il governo inglese lo ha insignito di Lord; la fisica può anche aprire la via alla carriera nobiliare.

Ed ecco, in poche parole, l'esperienza che fece scartare definitivamente l'ipotesi dell'atomo-frutto di Thomson. Immaginiamo di lanciare contro un atomo una particella che abbia una carica elettrica positiva (vedremo subito che tipo di particella si usa in pratica). Ora, due cariche elettriche positive (come anche due cariche elettriche negative) si respingono, mentre una carica elettrica positiva e una negativa si attraggono. Perciò man mano che la particella positiva si avvicina all'atomo, comincia a risentire la forza di attrazione degli elettroni (che hanno una carica elettrica negativa) e la forza di repulsione di quella parte dell'atomo che è carica positivamente. Sotto l'azione combinata di queste forze, la particella che arriva devia sulla sua strada.

Ed ecco il punto cruciale. Perchè la traiettoria che questa particella percorre sotto l'azione delle varie forze di repulsione e di attrazione dell'atomo, è diversa a seconda del modo con cui nell'interno dell'atomo sono distribuite le cariche negative e la carica positiva; e questa traiettoria può essere calcolata esattamente, per ogni distribuzione, con l'aiuto della matematica.

Se, per esempio, il modello dell'atomo-frutto del signor Thomson corrispondesse alla realtà, se cioè veramente in un atomo l'elettricità positiva fosse distribuita uniformemente entro una sfera grande come l'atomo stesso e in essa fossero immersi qua e là gli elettroni, e se una particella carica positivamente ur-

tasse questo atomo penetrando nel suo interno fino a poca distanza dal centro, un semplice calcolo fatto a tavolino ci dice che la traiettoria della particella che arriva subirebbe soltanto una lieve inflessione.

Armato di questa previsione teorica, Lord Rutherford eseguì l'esperienza lanciando contro un atomo una particella carica positivamente, una particella comodissima che ci viene gentilmente fornita da madre Natura in quei fenomeni di radioattività, dei quali parlerò tra non molto; e queste particelle *alfa*, che hanno una carica elettrica positiva il cui valore è uguale al doppio della carica dell'elettrone e una massa che è circa 7000 volte più grande della massa dell'elettrone, sono animate da grandissima velocità. Era proprio ciò di cui Lord Rutherford aveva bisogno. Dunque egli lancia contro un atomo una di quelle particelle e osserva la sua traiettoria; ma si accorge che essa non ha nulla a che fare con la traiettoria che la particella avrebbe dovuto percorerre se l'ipotesi dell'atomo-frutto di Thompson corrispondesse alla realtà: questa traiettoria subisce, da parte dell'atomo, una deflessione molto maggiore.

Traiettoria di una particella alfa nel caso del modello atomico di Thomson (*a*) e nel caso del modello atomico di Rutherford (*b*)

Quindi niente frutto e niente semini sparsi qua e là.

L'atomo-sistema planetario

Però questa traiettoria così deflessa è esattamente quella che la matematica ci permette di calcolare se, alla ipotesi di Thomson, se ne sostituisca un'altra che fu fatta dallo stesso Rutherford.

Egli suppose che la carica elettrica positiva, invece di essere

uniformemente distribuita in una sfera grande come l'atomo, fosse tutta concentrata nel centro dell'atomo in una regione piccolissima. Gli elettroni si trovano, esternamente, intorno a questo nucleo positivo.

Un atomo, perciò, è qualche cosa di simile a un microscopico sistema planetario: il nucleo centrale, che è carico positivamente e nel quale è contenuta quasi tutta la massa dell'atomo, occupa la posizione del Sole: gli elettroni, esterni, sono i pianeti di questo sistema planetario in miniatura. E come i pianeti sono costretti a ruotare intorno al Sole dalla forza di gravitazione, così gli elettroni sono costretti a ruotare intorno al loro sole, cioè intorno al nucleo positivo, dalla forza che li tiene legati a questo nucleo; la quale forza, pur essendo di origine elettrica, è però dello stesso tipo della forza di gravitazione.

Questo parallelismo tra il grandissimo e il piccolissimo, questa somiglianza tra il sistema planetario e l'atomo, potrebbe prestarsi a vaghe considerazioni stranamente suggestive... Ma ci si accorse ben presto che questa somiglianza era, in realtà, molto minore di quanto si era, in un primo momento, creduto.

Realtà e modelli

E a questo punto permettetemi, prima di proseguire la nostra descrizione dell'atomo e delle sue proprietà, di soffermarmi un momentino per mettere bene in chiaro un punto.

Quando dico: « l'atomo è fatto come un piccolo sistema planetario », si deve intendere che un atomo è fatto *proprio* in questo modo o semplicemente che un microscopico sistema planetario è soltanto un *modello* il quale permette di rendere conto facilmente del comportamento degli atomi?

Ebbene, quei fisici che hanno meditato più profondamente su questi problemi, sono tutti d'accordo nel considerare l'atomo di Rutherford semplicemente come un modello e niente altro che un modello. Ossia, quando nel seguito io dirò che, per esempio, gli elettroni che si muovono in un atomo descrivono certe orbite

non si deve pensare che queste si possano misurare come possono fare gli astronomi per le orbite dei pianeti: ma solo che i fenomeni di origine atomica che noi osserviamo si svolgono *come se* gli elettroni descrivessero proprio per davvero quelle certe orbite.

Dunque, intesi: si tratta di modelli utili per comprendere il comportamento degli atomi reali ma non di realtà vera e propria.

Ed ora chiudiamo la parentesi e andiamo avanti.

Novantadue diversi soli e la nostra nuova unità di carica elettrica

Scuotiamoci dunque da quelle considerazioni stranamente suggestive e chiniamoci insieme a guardare un po' più da vicino questo microscopico sistema planetario.

In verità, per essere esatto, avrei dovuto dire: questi microscopici sistemi planetari: e spiego subito il perchè di questo plurale.

Gli atomi dei vari elementi chimici non sono tutti eguali tra loro ma differiscono l'uno dall'altro per la loro massa. E poichè il solo responsabile della massa dell'atomo è il nucleo (dato che gli elettroni hanno una massa che è praticamente trascurabile) questo *nucleo atomico sarà diverso da elemento a elemento*; ed esso non è soltanto diverso per la sua massa, ma anche per la sua carica elettrica.

Il nucleo atomico di ognuno dei 92 elementi chimici è un sole diverso: diverso per massa, diverso per carica elettrica. E questa diversità di carica porta di conseguenza un diverso numero di elettroni pianeti; infatti maggiore è la carica elettrica (positiva) del nucleo e maggiore deve essere il numero degli elettroni i quali, con la loro carica negativa, devono equilibrare esattamente quella carica positiva, dato che l'atomo, nel suo insieme, ci appare neutro.

Ecco perchè vi ho invitato a chinarvi con me ad osservare non uno ma tanti — e precisamente novantadue — diversi mi-

croscopici sistemi planetari: diversi per la massa e per la carica elettrica dei loro soli, diversi per il numero degli elettroni-pianeti.

Prima di chinarci dobbiamo però metterci d'accordo su una cosa molto importante. Stiamo parlando della carica elettrica di un nucleo; ma quando dovrò dirvi che valore ha, per i nuclei atomici dei novantadue elementi esistenti in natura, questa carica, come faremo ad intenderci se prima non ci saremo messi d'accordo sull'unità di misura da usare? Partiamo perciò alla ricerca di una unità di carica elettrica che sia abbastanza piccola. Per evitare pericoli, prendiamo addirittura come unità la più piccola carica elettrica che si trovi in natura, cioè la carica elettrica portata da un elettrone. Ma, poichè la carica portata da un elettrone è negativa, la indicheremo con —1; e con +1 indicheremo l'unità di carica elettrica positiva che, a parte il segno, sarà eguale a quella dell'elettrone. Quando perciò dirò, per esempio, che il nucleo atomico dell'ossigeno ha carica +8, vorrò dire che la sua carica elettrica è, a parte il segno, eguale a quella di 8 elettroni. E poichè un atomo di ossigeno è elettricamente neutro, intorno a questo nucleo, di carica +8, dovranno ruotare otto elettroni.

Ecco dunque che cosa è un atomo di ossigeno: un microscopico sistema planetario il cui sole ha una carica elettrica +8; intorno a questo sole ruotano otto pianetini, tutti eguali, ciascuno con una carica elettrica —1.

Il protone

Rivolgiamo per un momento la nostra attenzione al più leggero degli elementi, l'idrogeno. L'atomo di idrogeno è costituito da un nucleo centrale di carica +1 e da un solo elettrone che gli gira intorno: è il più microscopico dei novantadue microscopici sistemi planetari.

E poichè nel nucleo è concentrata quasi tutta la massa dell'atomo, questo nucleo atomico dell'idrogeno avrà una massa che è praticamente eguale a 1.

Questo nucleo dell'atomo di idrogeno è considerato — e vi

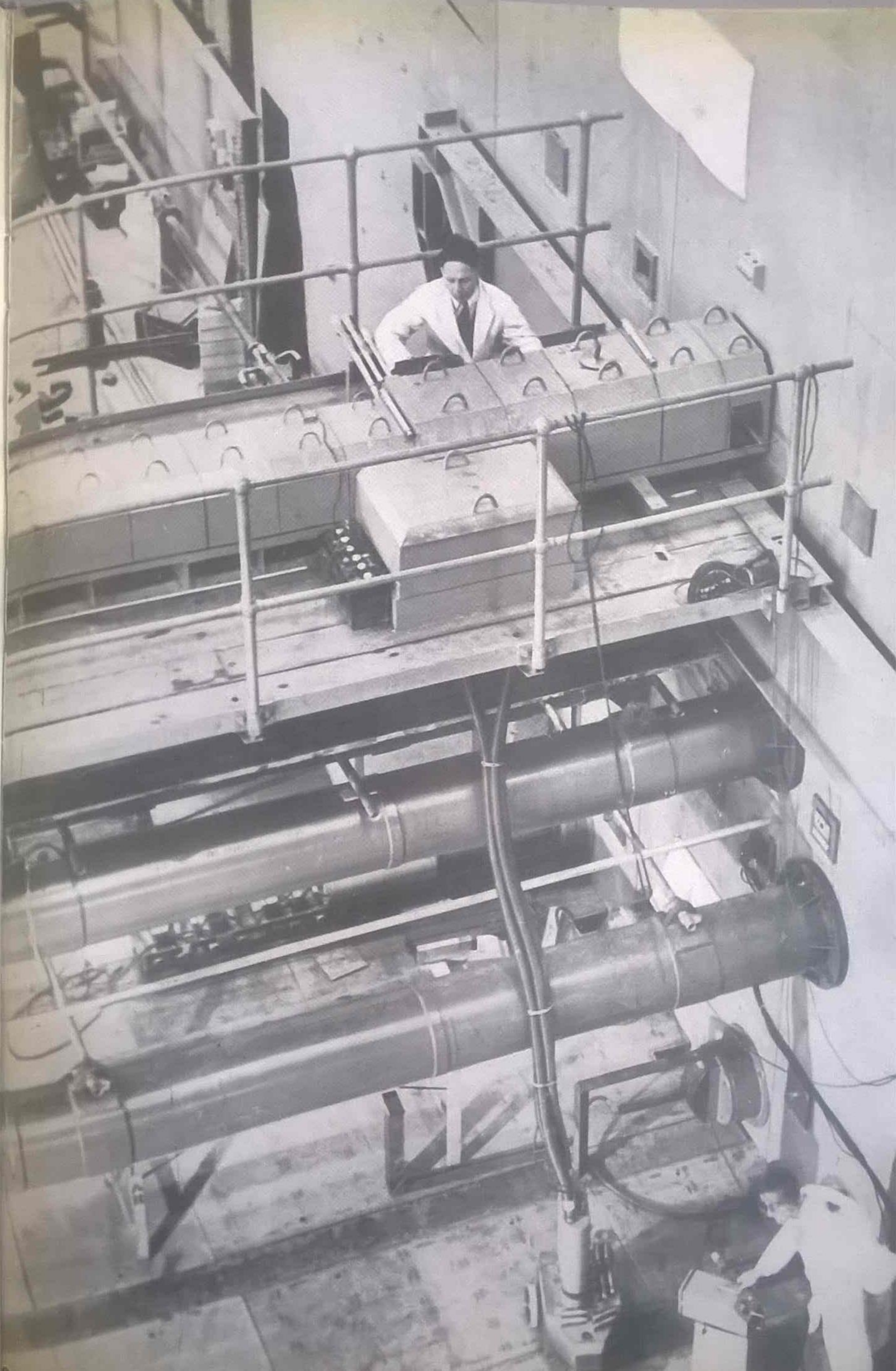



TAVOLA XIV

Una delle pareti della pila atomica di Harwell (Gran Bretagna). I tubi contengono sbarre che, introdotte più o meno nel reattore, lo mantengono in attività al ritmo voluto. Sopra: una fila di blocchi di grafite delimita un tunnel per introdurre o togliere materiale dalla pila stessa.

dirò poi in base a quali fatti — *come una particella semplice,* che non può venire ulteriormente suddivisa e *che entra a far parte di tutti i nuclei degli altri elementi* come uno dei principali costituenti. Questo nucleo dell'atomo di idrogeno, questo costituente di tutti gli altri nuclei, meritava un suo nome particolare. Esso è stato battezzato *protone* ed è uno dei principali attori di questo microscopico mondo degli atomi.

Eccoci dunque, per la seconda volta, di fronte a una particella che è indivisibile e che entra a far parte, come costituente, degli atomi di tutti gli elementi. La prima volta ci eravamo incontrati con gli *elettroni,* particelle di massa praticamente nulla e di carica —1; ecco ora i *protoni,* particelle di massa quasi eguale a 1 e carica elettrica +1.

Ecco i due primi mattoni che la Natura ha a sua disposizione per costruire tutti gli elementi; cioè, in ultima analisi, per costruire tutta la materia esistente nell'Universo.

Qualche elettrone in più o in meno...

L'elemento più semplice dopo l'idrogeno, è l'elio; un atomo di elio è formato da un nucleo centrale, la cui carica elettrica è +2; quindi attorno a questo nucleo ruoteranno due elettroni. Il peso atomico dell'elio (e perciò il peso del suo nucelo) è 4; ciò vuol dire che un atomo di questo elemento pesa quattro volte più di un atomo di idrogeno.

E dopo l'elio ecco il litio, il cui atomo è formato da un nucleo centrale di carica elettrica +3 e da tre elettroni satelliti; è poi il berillio, con un nucleo di carica +4 e quattro elettroni;... E così di seguito: tutti gli elementi si possono così elencare in ordine di complessità crescente; il numero degli elettroni satelliti va sempre aumentando di uno.

In questo modo, dall'elemento più semplice (l'idrogeno), attraverso tutti gli altri novantadue elementi esistenti in natura, si giunge al più complesso, all'uranio, il quale è costituito da un nucleo centrale, di carica elettrica +92, intorno al quale ruotano novantadue elettroni planetari.

Quindi, a parte la differente massa del nucleo atomico, ecco in che cosa un elemento chimico differisce da un altro: nel numero degli elettroni esterni.

Qualche elettrone planetario in più o in meno, ed ecco una sostanza pregiata e agognata come l'oro e il platino o una sostanza vile come il piombo e lo stagno; qualche elettrone in più o in meno, ed ecco l'azzurra atmosfera e un verde prato e l'inquieto mare...

Atomi ionizzati

Voglio ora fare una piccola precisazione. Quando ho detto: « un atomo ci appare elettricamente neutro », ho detto una cosa che non sempre è vera; per essere esatto avrei dovuto dire: « un atomo, normalmente, ci appare elettricamente neutro ». E vi spiego subito questa piccola aggiunta con un esempio un po'... doloroso.

Dalle elementari in su ci hanno insegnato che un uomo adulto ha trentadue denti. E questo, da un punto di vista puramente scientifico, è giusto; ma, se si vuole restare aderenti alla realtà, bisogna piuttosto dire: un uomo adulto ha, normalmente, trentadue denti. Perchè molto spesso, purtroppo, un uomo adulto ha qualche dente e, qualche volta, molti denti di meno.

Anche un atomo può perdere, in qualche circostanza, uno o più elettroni. E poichè un elettrone è carico negativamente, l'atomo, dopo la perdita, ci apparirà non più elettricamente neutro, ma carico positivamente. Un atomo così mutilato non è più un atomo ma è uno *ione*, o — se vi piace di più — un *atomo ionizzato*; se ha perso un solo elettrone è un atomo ionizzato una volta, se ne ha persi due è ionizzato due volte, ecc.

Anche una molecola può diventare uno ione; basta infatti che uno degli atomi che la costituiscono perda un elettrone, perchè la molecola, che normalmente è elettricamente neutra, ci appaia carica positivamente. Essa è ora uno ione.

Non è poi una cosa tanto rara che un atomo perda qualcuno dei suoi elettroni planetari: basta che sia investito da una scarica elettrica o da un fascio di raggi X o di raggi ultravioletti, basta che sia urtato da qualche particella molto veloce, o che sia portato a una temperatura molto alta... ed ecco che avviene la mutilazione, ecco che un atomo diventa uno ione.

Su questa nostra Terra, dove le temperature sono piuttosto irrisorie e dove i raggi X e i raggi ultravioletti non si incontrano ad ogni angolo di strada, di solito gli atomi sono atomi e non ioni. Ma nelle stelle, nelle quali vigono temperature di diversi milioni di gradi e nelle quali pullulano i raggi X e le particelle velocissime, gli atomi, normalmente, sono ioni; e anzi sono atomi che hanno perso non soltanto un elettrone o due, ma addirittura tutti o quasi tutti gli elettroni planetari: una vera ecatombe! E questi poveri atomi stellari sono quasi tutti ridotti al solo nucleo positivo, irriconoscibile, così violentemente spogliato della sua bella gonnellina di elettroni esterni.

Per quanto qui da noi gli atomi, di solito, siano atomi e non ioni, pure esistono, sparsi qua e là sulla faccia della Terra, alcuni piccoli, strani edifici, nell'interno dei quali pochi, stranissimi individui si dedicano spesso a questo strabiliante sport: trasformare gli atomi in ioni. Questi strani edifici sono laboratori scientifici e questi stranissimi uomini sono i fisici. Raggi X e raggi ultravioletti non si incontrano ad ogni angolo di strada, ma in un laboratorio fisico girate un interruttore ed ecco raggi X o raggi ultravioletti a profusione; mettete in moto un apparecchio (in verità piuttosto complicato e monumentale) ed ecco quante particelle velocissime potete desiderare... A un fisico non mancano certamente mezzi che gli permettano di dedicarsi alla trasformazione degli atomi in ioni.

Ricordate quel tubo chiuso di vetro del diligente signor Crookes, che racchiudeva (il tubo, non il signor Crookes) una piccola quantità di un gas e nel quale facevamo avvenire la scarica elettrica? Quale occasione migliore potrà presentarsi agli atomi di quel gas per liberarsi di qualcuno dei loro elettroni planetari? Ed essi, vi assicuro, ne approfittano ampiamente.

Ed ecco che cosa accade in quel tubo. Passa la scarica: a

qualcuno degli atomi del catodo e a molti atomi del gas viene violentemente strappato uno degli elettroni planetari. Ed ora l'interno del tubo è abitato da tre popolazioni diverse: vi è un certo numero di atomi ancora intatti che cercano di tenersi ben stretta intorno la loro gonnellina di elettroni; vi è una popolazione di elettroni liberi e vi sono tutti gli atomi che hanno perso un elettrone, vi è cioè il popolo degli ioni.

Di tanto in tanto un membro della popolazione elettroni liberi passa troppo vicino a uno ione; questi, con la sua carica positiva, attira a sè quello sperduto e piccolo elettrone (che, come ricordate, ha una carica elettrica negativa) e lo inghiottisce. Ed ecco che questo ione riassurge alla dignità di atomo; esso aveva perso un elettrone ma ora ne ha riacquistato un altro: non è proprio lo stesso; ma che importa? I membri di quella popolazione di elettroni liberi sono tutti identici e assolutamente indistinguibili l'uno dall'altro.

Capirete bene che, abitato da queste tre popolazioni tanto agitate, l'interno di quel placido tubo di vetro è un vero caos. Però...; c'è qualche cosa che viene a regolare un po' la circolazione e a mettere un po' d'ordine in questo caos. Come certamente ricordate, a quel tubo di vetro sono saldati i due estremi di un generatore di corrente tra i quali avviene la scarica; e, come certamente non ricordate affatto, si chiama catodo l'estremo negativo e anodo l'estremo positivo.

Fino al momento in cui facciamo avvenire la scarica, nel tubo corrono di qua e di là, disordinatamente, gli atomi del gas. Ma non appena avviene la scarica, ecco il caos delle tre popolazioni: atomi pudichi, elettroni liberi e ioni. Gli atomi intatti sono premiati della loro pudicizia e sono ancora liberi di correre dove vogliono, disordinatamente. Ma gli elettroni liberi e gli ioni sono soggetti a forze che li costringono a incanalarsi in due direzioni ben precise: gli elettroni liberi, che hanno una carica elettrica negativa, vengono violentemente respinti dal catodo, che è anche esso carico negativamente; e vengono perciò scaraventati con forza contro la parete del tubo opposta al catodo, sotto forma di un pennello di raggi: sono questi i raggi catodici, come sappiamo; l'esperienza infatti dimostra che essi sono costituiti di elettroni cioè di particelle tutte eguali tra loro di massa picco-

lissima, quasi trascurabile, e di carica elettrica negativa. La popolazione degli ioni subisce un trattamento analogo, ma opposto. Essi, che hanno una carica elettrica positiva, vengono attratti dal catodo negativo e vi si precipitano sopra con violenza; tanto che, se questo catodo è forato, passano attraverso i fori e spuntano fuori dall'altra parte sotto forma di altrettanti pennelli di raggi: sono questi i raggi canale. Quando un atomo perde un elettrone planetario dà luogo a uno ione; ma evidentemente questo ione è diverso a seconda dell'atomo di partenza. E infatti l'esperienza dimostra che i raggi canale sono costituiti di particelle (la cui massa varia al variare del gas contenuto nel tubo), che portano una carica elettrica positiva.

Ecco in qual modo in quel caos si crea un ordine; ecco in qual modo si differenziano i destini di quelle tre popolazioni.

Una nuova legislazione

Ma lasciamo ora il tubo di vetro, gli ioni, gli elettroni e torniamo a considerare un pacifico atomo neutro, con il suo nucleo e i suoi elettroni esterni. Verrà presto il momento in cui dovremo chinarci più profondamente per guardare più da vicino questo nucleo atomico che racchiude in sè quasi tutta la massa dell'atomo e tutta la sua carica positiva: e vedremo che questo nucleo è, a sua volta, un piccolo, complicato mondo con i suoi abitanti e le sue leggi. Ma per ora continuiamo a considerarlo come un'unica particella che si trova al centro dell'atomo e che è il sole di questo sistema planetario, così grazioso nella sua microscopicità.

Sarebbe veramente troppo bello che un atomo riproducesse, in piccolo, un vero sistema planetario; che cioè nel mondo atomico fossero valide le stesse leggi della meccanica che vigono nel sistema solare. Sarebbe troppo bello; infatti, purtroppo, non è vero. *Le leggi della meccanica dei corpi ordinari, le leggi della meccanica classica del mondo macroscopico non sono valide nel mondo microscopico.* E ve ne do subito la prova.

I pianeti girano intorno al Sole sotto l'azione della forza di gravitazione; gli elettroni invece sono legati al nucleo atomico da una legge che, pur essendo dello stesso tipo della legge di gravitazione, è però di origine elettrica. Ed è proprio questa origine elettrica che rovina tutto: perchè secondo le leggi della fisica classica, cioè della fisica dei corpi ordinari, un sistema come quello dell'atomo (in cui alcuni corpuscoli carichi negativamente ruotano intorno a un nucleo che ha una carica elettrica positiva) non potrebbe sussistere: si dimostra infatti che, se fossero valide quelle leggi, gli elettroni, durante il loro moto di rotazione, dovrebbero perdere continuamente energia e, di conseguenza, dovrebbero avvicinarsi sempre più al nucleo finendo col cadervi dentro: l'atomo così si distruggerebbe e allora... buonanotte.

Ora, poichè ciò non avviene e poichè gli elettroni continuano a ruotare intorno al nucleo, dobbiamo concluderne che nell'interno dell'atomo *non* valgono le stesse leggi classiche del nostro mondo quotidiano; la validità di queste leggi sussiste fin quando si considerano stelle e pianeti, valgono sulla nostra Terra, per il nostro corpo e gli oggetti che ci circondano, valgono ancora per le molecole e per gli atomi, fin quando però ogni atomo è considerato come un tutto unico; ma quando entriamo nell'interno dell'atomo questa validità cade. Nel mondo atomico vige una legislazione particolare.

BOHR

Come potete bene immaginare, questa constatazione fu una scossa per i fisici; pensando bene, però, essi dovettero convenire che la cosa era meno strana di

quanto potesse apparire; l'atomo è qualche cosa di tanto piccolo, che passare dal nostro mondo al mondo atomico vuol dire fare un balzo prodigioso; cosa c'è poi di tanto strano se in questo mondo così diverso vigono leggi diverse?

Quindi ecco che i fisici, dopo avere fatto l'amara constatazione della non validità, nell'interno dell'atomo, delle solite leggi alle quali erano abituati e — perchè no? — anche affezionati, si misero, sulla base dei dati sperimentali, a cercare a quali strane leggi ubbidissero gli abitanti del mondo atomico. E nel 1913 il fisico danese N. Bohr propose per primo la nuova legislazione; più tardi poi il tedesco Sommerfeld enunciò queste leggi in forma più generale.

I fisici di tutto il mondo, come vedete, costituiscono una grande, unita famiglia nella quale non esistono più nazionalismi mal intesi: il cinese e il giapponese collaborano, il russo e l'americano si scambiano idee e consigli; l'italiano e lo jugoslavo costruiscono una nuova teoria con il consiglio, magari, di un fisico delle isole Haway; quella lingua universale che è la matematica aiuta sempre e vi assicuro che si intendono benissimo. E tutti, fratelli, sono al servizio della scienza. Tutto ciò, naturalmente, finchè non ci mette lo zampino la guerra, con le sue bombe atomiche, con i suoi segreti militari e i suoi convegni politici... Ma bando alle tristezze e torniamo a quelle leggi atomiche che furono enunciate da un fisico danese e generalizzate da un fisico tedesco.

Le orbite degli elettroni

Quando io dico: «gli elettroni ruotano intorno al nucleo», voi forse immaginate una folla più o meno numerosa di elettroni che girano, se non proprio urtandosi e litigando, per lo meno su orbite distribuite a caso intorno al nucleo. E, nel caso particolare dell'atomo più semplice, cioè dell'atomo di idrogeno, che è costituito da un nucleo (protone) e da un solo elettrone planetario, voi forse pensate che questo elettrone abbia infinita libertà di

scelta e possa percorrere intorno al nucleo qualsiasi orbita gli piaccia. E, in verità, sarebbe ben lecito immaginare tutto ciò se, ad impedircelo, non intervenisse appunto la teoria di Bohr-Sommerfeld.

Secondo questa teoria l'elettrone dell'atomo di idrogeno (tanto per mantenerci nel caso più semplice) è costretto da alcune leggi a percorrere intorno al nucleo soltanto alcune determinate orbite; a seconda delle circostanze (e più tardi vedremo quali) egli può ruotare più vicino o più lontano dal nucleo, ma la sua orbita sarà sempre una di quelle determinate orbite e non una qualunque dettatagli dal suo capriccio; egli ha soltanto una limitata libertà di scelta.

È un po' ciò che accade quando andate a sentire una conferenza; vi piacerebbe sedervi in prima o in seconda fila per non perdere nè una parola nè un gesto del conferenziere; invece no; quelle prime file sono composte di sedie di damasco rosso con lo schienale dorato e sono riservate alle autorità; vi piacerebbe sedervi — che so io? — nella ventesima fila per essere un po' più liberi nel caso (non si sa mai) vi scappasse uno sbadiglio; invece no: alla ventesima fila c'è un cartello: « riservato agli alunni della scuola X Y ». Quindi nella prima fila no, nella seconda fila no, nella ventesima no: esiste una legge che vi costringe a sedere soltanto in determinate file; la vostra libertà di scelta è limitata.

Siete un po' nelle condizioni di quel povero elettrone la cui vita è soggetta anche essa a leggi draconiane, che gli impongono di percorrere attorno al nucleo soltanto alcune determinate orbite.

Ed ora che abbiamo ben stabilita questa legge, ci chiediamo: è proprio indifferente che l'elettrone percorra l'una o l'altra di queste orbite che gli sono permesse? Che cosa gli accade quando si trova sull'una o quando si trova sull'altra?

Che cosa è l'energia?

Probabilmente voi direte: Mah! Un'orbita o l'altra (purchè non siano di quelle col cartellino di circolazione vietata) è lo stesso: questa o quella per me pari sono.

Invece no; per l'elettrone questa o quella sono molto diverse. E non soltanto sono diverse perchè, a seconda che ruota su questa o su quella, si trova più o meno vicino al nucleo, ma perchè *a seconda dell'orbita sulla quale si trova, esso ha un'energia diversa.*

Il concetto di energia è uno dei più facili tra quelli che si incontrano nella fisica; perchè per un fisico la parola energia ha proprio lo stesso significato che essa ha per il comune mortale.

Quando io dico: oggi mi sento pieno di energia, intendo dire che oggi mi sento capace di compiere molto lavoro. Ed è proprio la stessa cosa: l'energia di un corpo, nel linguaggio di un fisico, è appunto la capacità che ha questo corpo di compiere un lavoro. E l'energia si misura con il lavoro che il corpo può compiere.

Che io possa fare un lavoro è certamente una cosa comprensibile; ma forse non vi sembra altrettanto comprensibile che un corpo inanimato qualsiasi possa compiere un lavoro. E invece è proprio così: ogni corpo può fare un lavoro, ogni corpo possiede una energia. Quel vaso da fiori leggiadramente appoggiato su quel davanzale lassù può compiere un lavoro: perchè se — scostatevi, per favore — quel vaso cade giù, può, per esempio, spaccare la testa a qualcuno: e non mi negherete che spaccare una testa sia una cosa piuttosto faticosa. Perciò quel vaso, che così innocentemente e così pacificamente adorna quel davanzale, ha in sè un'energia, una pericolosissima energia, dovuta alla sua aerea posizione.

Il vaso ha un'energia perchè sta fermo; un altro corpo può possedere energia perchè si muove: l'acqua di un ruscello che corre schiumeggiando, urtando contro le pale della ruota di un mulino la fa girare; quella che precipita giù da una cascata mantiene in moto le turbine di una centrale elettrica; una palla di cannone demolisce ed uccide; un proiettile lacera membra e ferisce; il vento sradica alberi e fa volare tegole; le onde del mare distruggono moli e corrodono spiagge. L'acqua del ruscello e quella della cascata, la palla di cannone e il proiettile, il vento e le onde del mare compiono un lavoro; essi, per il fatto di essere in movimento, posseggono un'energia.

Esiste dunque un'energia dovuta allo stare in una certa

posizione (energia potenziale) e un'energia dovuta all'essere in moto (energia cinetica); ma esiste anche un'energia dovuta al fatto di trovarsi a una certa temperatura (il carbone acceso è capace di fare bollire una pentola; esso ha un'energia termica); o al fatto di trovarsi in un certo stato chimico (energia chimica) ecc. Come vedete, non si scappa: per una ragione o per un'altra, perchè è in una certa posizione, perchè si muove, perchè si trova a una certa temperatura o perchè si trova in un certo stato chimico..., ogni corpo, per quanto inanimato, possiede una energia, cioè ha l'attitudine a compiere un lavoro.

Il principio di esclusione

Ma torniamo ora alle nostre orbite (naturalmente a quelle permesse) e al nostro elettrone.

Dunque dicevamo che questo elettrone non può cantare: « questa o quella per me pari sono », perchè, a seconda dell'orbita sulla quale esso ruota, possiede una energia diversa: questa energia è l'insieme della sua energia cinetica e della sua energia potenziale, cioè dell'energia che esso possiede perchè si muove e perchè si trova in quella posizione.

Ognuna delle orbite permesse, perciò, è caratterizzata da una energia; l'energia minore compete all'orbita più vicina al nucleo, cioè alla più interna; essa diventa poi sempre più grande man mano che il raggio dell'orbita aumenta. I valori che questa energia assume passando da un'orbita a un'altra, sono determinati dalle leggi di Bohr-Sommerfeld.

Quando siete entrati in quella sala di conferenza, e vi siete guardati intorno alla ricerca di un posto, la vostra libertà di scelta non era limitata soltanto dalla presenza di quelle poltrone di damasco rosso e di quel cartello: « riservato agli alunni... »; vi erano molte altre sedie sulle quali non potevate andare a sedere... per la semplice ragione che erano già occupate.

E' proprio ciò che accade al povero elettrone; non soltanto egli è costretto (dalle leggi di Bohr-Sommerfeld) a ruotare solamente su alcune determinate orbite, ma, tra queste, può an-

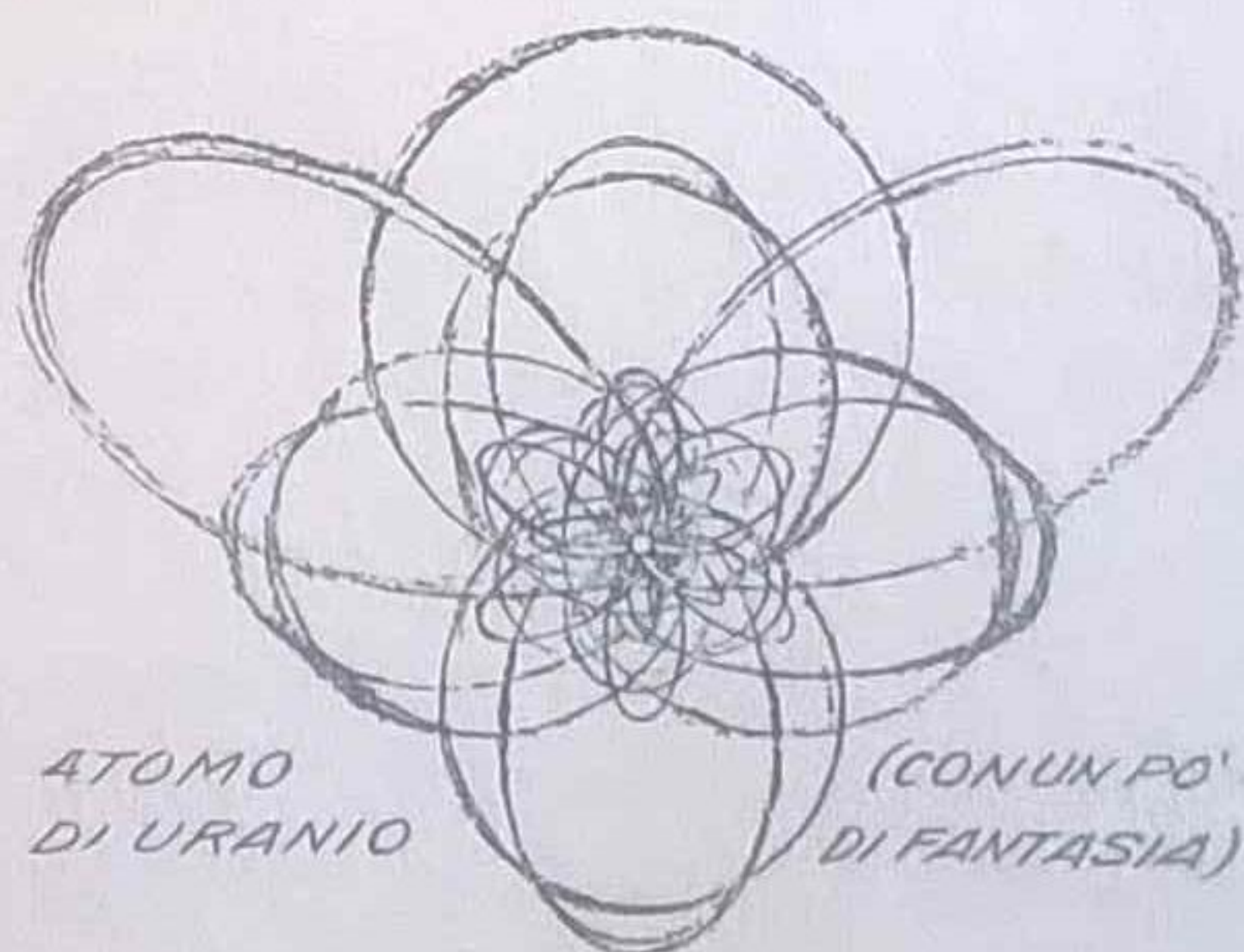
dare a occuparne soltanto una sulla quale non si trovi già un altro elettrone. Naturalmente ciò accade per gli atomi che posseggono più di un elettrone planetario, cioè per gli atomi di tutti gli elementi, tranne l'idrogeno.

Fu il fisico tedesco Pauli ad enunciare il principio che su ogni orbita può ruotare soltanto un elettrone: esso è noto con il nome di *principio di esclusione.*

Strati elettronici

Se non vi sono speciali cause esterne, l'elettrone va (finalmente!) a occupare l'orbita libera più vicina al nucleo.

Ecco quindi che, nell'atomo di idrogeno, l'elettrone planetario ruota intorno al protone sulla più interna delle orbite che gli sono permesse. Nell'elemento successivo, l'elio, il secondo elettrone si deve accontentare della seconda orbita, visto che la prima è già occupata... E così man mano gli elettroni vanno ad occupare ordinatamente orbite via via più esterne. E tutto si svolge in modo simpaticamente ordinato e armonico.

Si potrebbe però pensare che queste orbite fossero, in un certo senso, equidistanti l'una dall'altra, che, cioè, il valore dell'energia che compete loro andasse *regolarmente* aumentando man mano che si passa da un'orbita a un'altra più esterna; e non posso negare che ciò renderebbe l'insieme più simpaticamente armonico. Devo confessarvi invece che questo non accade: i valori dell'energia procedono irregolarmente: vi sono gruppi di orbite per le quali l'energia differisce di pochissimo, poi essa fa un balzo più grande e si passa a un altro gruppo piuttosto compatto, poi un altro balzo e un altro gruppo...

Ognuno di questi gruppi, le cui orbite hanno una energia che differisce di pochissimo, si chiama *strato*. E i fisici si sono messi d'accordo ed hanno chiamato strato K lo strato più interno, strato L quello immediatamente successivo e poi strato M, N,...; tanto per potersi intendere.

Lo strato K (quello più interno) è formato da due sole orbite; lo strato L da otto, lo strato M da diciotto... E poichè su ogni orbita non può ruotare più di un solo elettrone, nello strato K trovano posto due elettroni, nello strato L otto elettroni, nello strato M diciotto...

È molto semplice ora rendersi conto della successiva genesi dei vari elementi. Dunque incominciamo.

Nell'atomo di idrogeno l'unico elettrone (come oramai ben sappiamo) ruota intorno al nucleo sulla orbita più interna. Dopo l'idrogeno, ecco l'elio con due elettroni planetari; uno dei due continua a girare sulla orbita più interna (che è quella a cui compete l'energia minore), mentre l'altro, che trova il primo posto occupato, va a occupare, tra le orbite diponibili, quella che ha minore energia; eccolo dunque sulla seconda orbita: così lo strato K (che è formato da due sole orbite) è completo.

L'elemento successivo è il litio con tre elettroni planetari: questo terzo elettrone trova tutto lo strato K completo e deve quindi accontentarsi dell'orbita più interna del secondo strato, cioè dello strato L; nell'atomo del berillio i quattro elettroni planetari occupano il primo strato e le due orbite più interne del secondo...; e così di seguito fino al neon, il cui atomo è formato dal nucleo centrale e da dieci elettroni esterni; questi elettroni occupano completamente i primi due strati, due nello strato K e otto nello strato L.

E poi ecco il sodio con undici elettroni planetari; l'undicesimo va ubbidientemente a disporsi sull'orbita più interna dello strato M... E potete divertirvi a continuare così di elemento in elemento, fino ad arrivare all'atomo di uranio con i suoi novantadue elettroni planetari.

Atomi affini e una casta nobile

Tra tutti questi elementi scegliamo ora l'idrogeno, il litio e il sodio, i quali hanno rispettivamente uno, tre e undici elettroni planetari.

Gli atomi di questi tre elementi, che sono completamente diversi per la massa e la carica elettrica del nucleo e per il numero degli elettroni esterni, hanno però tra loro una rassomiglianza. Ecco quale: l'atomo di idrogeno (e sarete ben stufi di sentirmelo ancora ripetere) è costituito dal nucleo e da un solo elettrone che ruota sull'orbita più interna del primo strato; nell'atomo di litio due elettroni completano il primo strato e un solo elettrone gira sull'orbita più interna del secondo strato. In un certo senso perciò un atomo di litio può considerarsi analogo a un atomo di idrogeno poichè in entrambi vi è *un solo* elettrone nello strato più esterno che ruota intorno a un insieme stabile: il solo nucleo nel caso dell'idrogeno, il nucleo più lo strato K nel caso del litio.

E analogamente l'atomo di sodio (undici elettroni) ha *un solo* elettrone esterno che ruota intorno a un insieme stabile formato dal nucleo e da due strati K e L. Ecco in che cosa questi elementi diversi si rassomigliano.

Non è affatto strano che a questa rassomiglianza nella disposizione degli elettroni satelliti corrisponda una analogia nel comportamento dell'atomo: infatti gli elementi idrogeno, litio e sodio hanno proprietà chimiche affini, poichè le proprietà chimiche dei diversi elementi dipendono appunto dalla disposizione degli elettroni planetari: questi elementi idrogeno, litio, sodio... sono noti con il nome di *alcalini*.

Tutto ciò si può ripetere per gli elementi che hanno due elettroni nello strato più esterno, elementi che saranno anche essi chimicamente affini (*alcalino-terrosi*); per quelli che ne hanno tre, quattro...

Naturalmente poi sono chimicamente affini anche quegli elementi i cui atomi formano, per così dire, un insieme stabile e chiuso costituito dal nucleo e da uno o più strati completi: l'elio, con due elettroni planetari, i quali occupano le due orbite dello

strato K; il neon con 10 elettroni che completano i primi due strati;...

Questi due elementi, insieme ad altri che posseggono un maggior numero di elettroni, sempre però in numero tale da riuscire a completare vari strati via via più esterni, presentano tra loro una grande affinità: sono tutti gassosi e mostrano tutti una enorme ripugnanza a combinarsi con altri elementi; per questa ripugnanza a contrarre legami è stato dato loro il nome di *gas nobili*; essa è dovuta al fatto che il loro atomo, per avere intorno al nucleo un certo numero di strati completi, si presenta come una formazione più stabile degli atomi degli altri elementi.

Una clamorosa conferma

E ora prendete un gran foglio di carta e scrivete il nome di tutti gli elementi, ordinandoli secondo il numero degli elettroni planetari: 1 l'idrogeno, 2 l'elio, 3 il litio, 4 il berillio, 5 il boro... 8 l'ossigeno, 9 il ferro, ..., 79 l'oro, 80 il mercurio, ..., 92 l'uranio.

Ma invece di scriverli semplicemente l'uno dietro l'altro, scrivete in colonna quegli elementi che hanno lo stesso numero di elettroni sullo strato più esterno, quegli elementi cioè che sono chimicamente affini: scrivete cioè in questo modo:

	1 IDROGENO							
2 ELIO	3 LITIO	4 BERILLIO	5 BORO	....	....	8 OSSIGENO	....	
10 NEON	11 SODIO	....	....	....	....	....	....	

Naturalmente ci accontentiamo di scrivere quei pochi elementi più semplici, dei quali abbiamo già parlato, il cui atomo possiede un numero ragionevole di elettroni planetari; non è mia intenzione farvi sommergere da una ridda di elettroni ruotanti.

Ma una persona di buona volontà e dal sistema nervoso solido, potrebbe portare a termine l'impresa e scrivere così tutta la tabella dei novantadue elementi. E allora, riguardandola, sentirebbe sorgere in sè vaghe reminiscenze; ricorderebbe un'altra tabella che un giorno, su un duro banco di scuola, aveva guardato e — ahimè — studiato con senso di profondo disgusto; una tabella che si chiamava — ricordate? — « sistema periodico degli elementi » o « tabella di Mendelejew ».

Accade proprio questa cosa strabiliante. Nel 1868 il chimico russo Mendelejew aveva preso anche egli un gran foglio di carta e aveva scritto l'uno dietro l'altro il nome degli elementi chimici conosciuti ordinandoli secondo il loro peso atomico; prima l'idrogeno che è il più leggero, poi l'elio e poi il litio... fino al più pesante, l'uranio; ma aveva notato che, andando a capo al momento giusto, si riusciva a mettere in colonna i vari elementi che avevano proprietà chimiche affini: gli alcalini, gli alcalino-terrosi, gli alogeni, i gas nobili...

Questa coincidenza apparve elegante e bella; troppo bella per essere una semplice coincidenza; doveva esserci sotto qualche cosa. E infatti c'era sotto tutto ciò che vi ho raccontato finora: la costituzione atomica degli elementi, l'atomo-sistema planetario, gli elettroni esterni, le orbite permesse, gli strati...

Quella tabella che il chimico russo aveva costruito partendo soltanto da dati forniti dall'esperienza, è stata ritrovata da noi percorrendo una strada, una faticosa e lunga strada, assolutamente diversa. È questa una brillantissima e clamorosa conferma del modello atomico di Lord Rutherford e delle leggi di Bohr-Sommerfeld che lo completano,

Salti elettronici

E con lo spirito rinfrancato e sollevato da questa conferma, torniamo all'atomo di idrogeno.

Quell'unico, solitario elettrone planetario sta ruotando, mantenendosi quanto più può vicino al nucleo; esso ruota sulla

più interna delle orbite che gli sono consentite. Se dall'esterno non sopravviene nessuna perturbazione, questo stato di cose si mantiene immutato: l'elettrone continua a girare sulla sua orbita, indisturbato. Ma qualche volta può accadere, in questo piccolo mondo, qualche cosa di strano: dal grande mondo esterno può giungere all'atomo una perturbazione sotto forma, per esempio, di un raggio di luce o di una particella velocissima, che può essere, per esempio, un altro atomo o un elettrone.

L'elettrone planetario allora, a questa visita inaspettata, si ringalluzzisce e dalla prima orbita passa a ruotare sulla seconda. Ma se ricordate, quanto maggiore è il raggio dell'orbita, tanto maggiore è l'energia che le compete. Quindi l'elettrone, per passare dalla prima alla seconda orbita, deve acquistare una certa quantità di energia; e questa energia gli sarà fornita da quello stesso visitatore che giunge dall'esterno, per esempio il raggio di luce.

Ecco dunque il nostro elettrone ruotare sulla seconda orbita; ma la sua posizione ora non è più stabile; perciò, prima o dopo, esso salterà di nuovo sull'orbita più interna e la situazione tornerà ad essere quale era all'inizio. Ma su questa orbita più vicina al nucleo l'elettrone ha un'energia minore di quella che possedeva quando si trovava sull'orbita più esterna; perciò al momento del salto l'elettrone, e quindi l'atomo, emette questo sovrappiù di energia.

Se la perturbazione esterna è, per così dire, più violenta, l'elettrone dalla prima orbita può passare addirittura sulla terza, o sulla quarta o su una ancora più esterna. E, naturalmente, l'energia che emetterà quando, inevitabilmente, salterà di nuovo sulla più interna, sarà eguale alla differenza tra l'energia che compete (per esempio) alla quarta orbita e quella che compete alla prima; questa energia emessa sarà la somma delle energie che competerebbero ai singoli passaggi dalla quarta orbita alla terza, dalla terza alla seconda, dalla seconda alla prima.

Se la perturbazione, che giunge dall'esterno, è violentissima, l'elettrone sarà addirittura strappato via dall'atomo, che si trasforma così in uno ione; come vedete, di tanto in tanto incontriamo qualche persona di conoscenza.

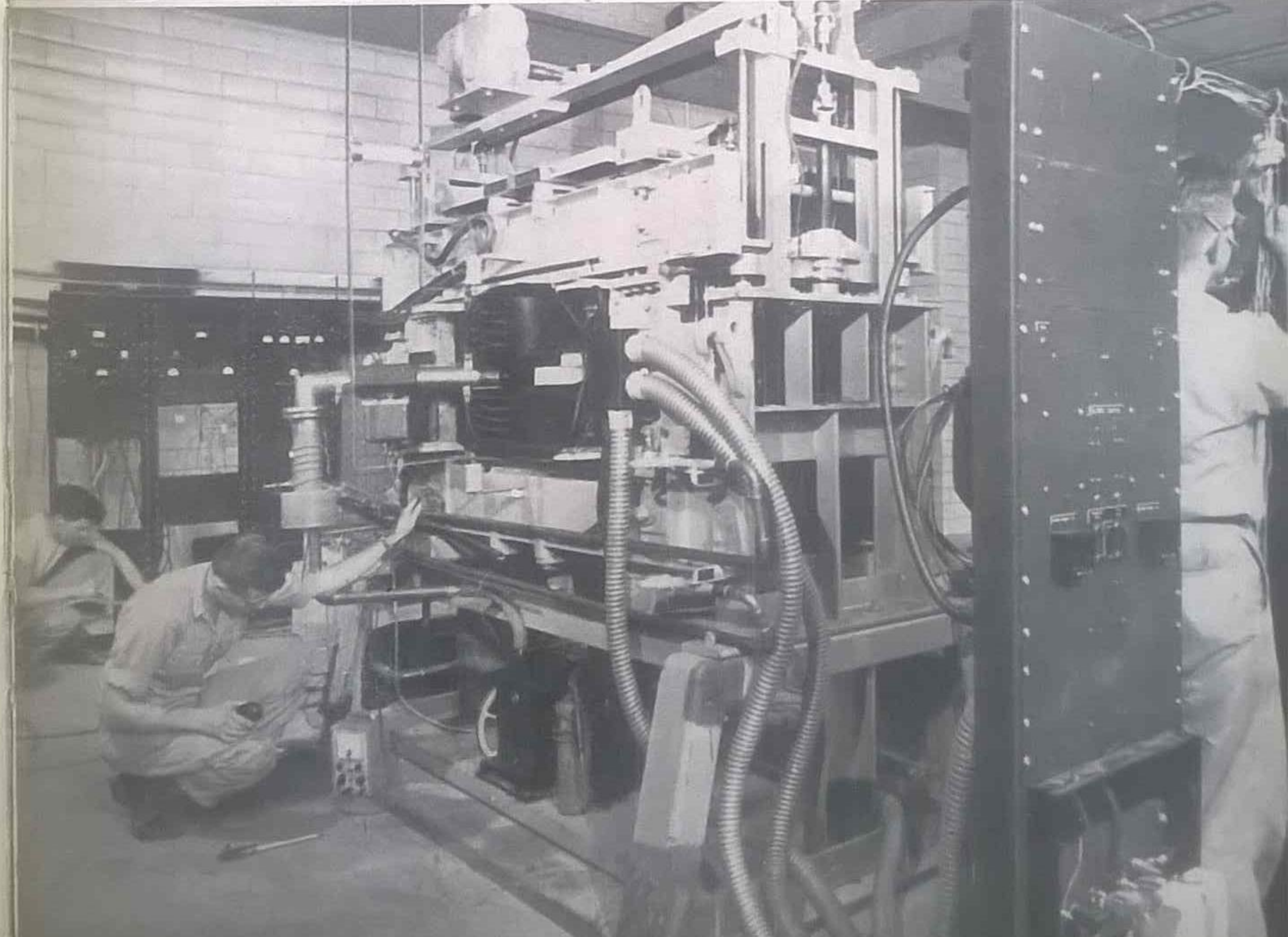
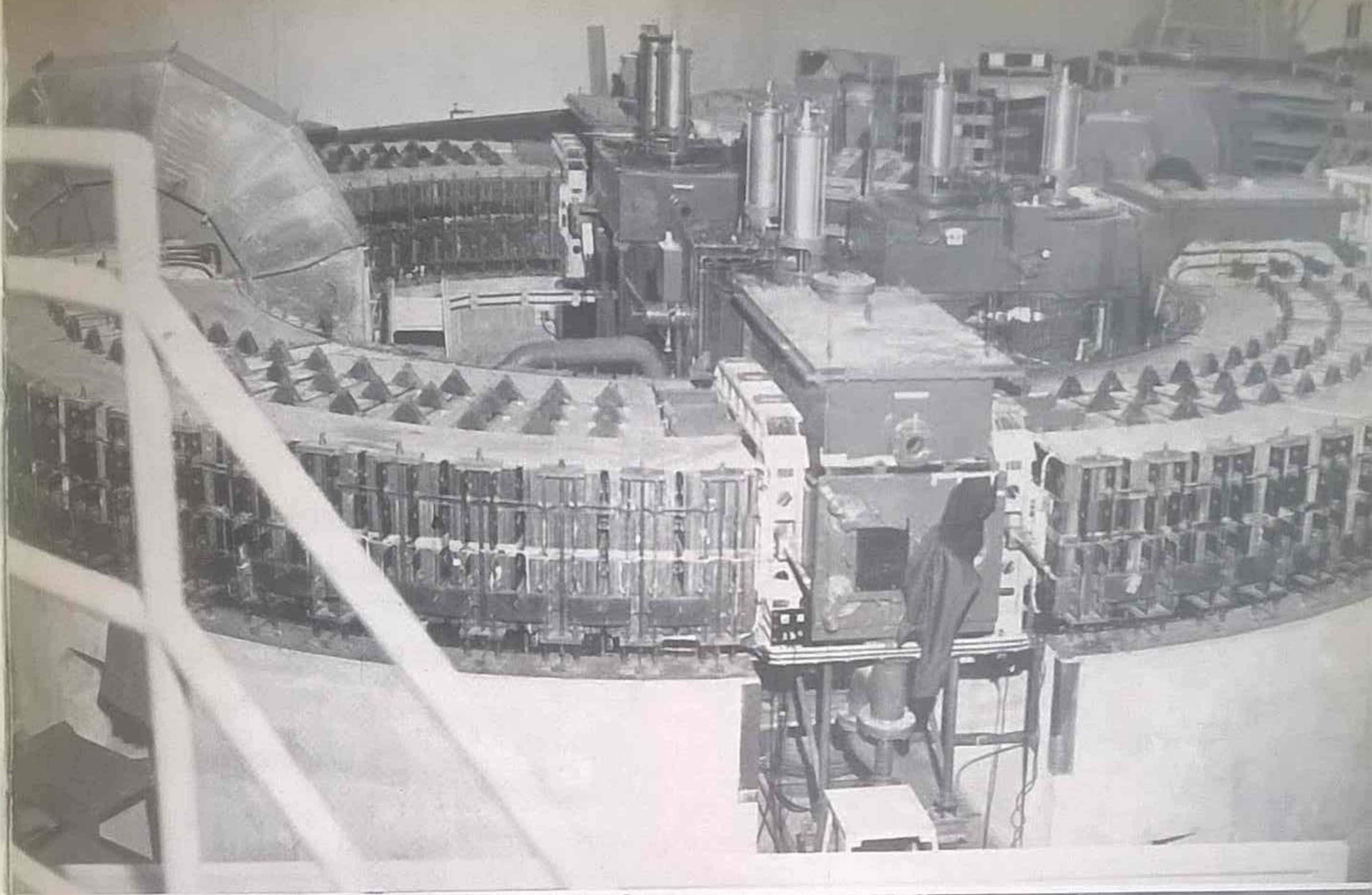



TAVOLA XV

Sopra: un gigantesco sincrotrone in costruzione a Pasadena in California. Sotto: un nuovo sincrotrone in costruzione per opera di studenti del Iowa State College (Stati Uniti).

Che cosa è un quanto

Noi non possiamo pretendere che un atomo emetta una energia qualsiasi: esso emetterà una certa energia E, soltanto nel caso in cui possiede due orbite tali che la differenza tra le loro energie sia E; infatti soltanto in questo caso l'elettrone, saltando dall'una all'altra, emetterà l'energia E.

Se l'atomo non possiede due orbite così fatte, non c'è speranza: esso non potrà mai accontentarci. Sarebbe lo stesso che voi pretendeste da me una carta da 1000 lire un giorno in cui il mio portafoglio fosse pieno zeppo soltanto di fogli da 5000 e da 10.000 lire (il che, vi assicuro, avviene piuttosto di rado); con tutta la mia buona volontà non potrò mai accontentarvi.

Un atomo quindi può emettere soltanto alcune determinate quantità di energia o, come dicono i fisici, alcuni determinati *quanti di energia*; poichè essi chiamano *quanto* la quantità di energia che viene emessa da un atomo quando il suo elettrone fa un salto da un'orbita (più esterna) a un'altra (più interna) tra quelle che gli sono permesse.

E ora distogliamo la nostra attenzione dall'idrogeno e guardiamo anche gli altri elementi: vediamo qualche cosa di assolutamente analogo. Poichè tutto ciò che abbiamo detto per l'unico elettrone dell'atomo di idrogeno si può ripetere per gli elettroni planetari di tutti gli altri elementi; naturalmente uno di questi elettroni potrà saltare su un'orbita soltanto a condizione che questa non sia già occupata.

Penso che sia ora opportuno fermarsi un momento dinanzi a questo nuovo concetto di *quanto,* che ha una enorme importanza nella vita e nella conversazione di un fisico.

Che la materia non sia qualche cosa di continuo ma che sia suddivisibile in corpuscoli, che cioè essa sia discontinua, è un concetto al quale oramai siamo abituati. Ma che anche l'energia sia discontinua, cioè che anche essa sia divisibile in « granuli di energia », è una affermazione che dà una leggera scossa. Eppure bisogna abituarsi: l'energia, come la materia, è discontinua; essa è divisibile in *quanti* i quali, però, sono indivisibili.

Perchè un quanto è una quantità di energia, ma è una quantità sempre intera, che non si può spezzare. A seconda che l'elettrone salta dalla seconda o dalla terza o dalla quarta... orbita sulla prima, emette un quanto diverso (e precisamente emette quanti di frequenza sempre maggiore). Però esso emette sempre un quanto intero, non mai mezzo quanto o un quarto di quanto. È proprio ciò che potete osservare se vi fermate fuori da un cinematografo alla fine dello spettacolo; dalla porta vedete uscire, una dietro l'altra, tante persone: ecco una signora grassa, un signore magro, una bella ragazza alta, un bambino, poi di nuovo un signore grasso... Vedete uscire tante persone diverse, più grandi, più piccole, vedete uscire una persona sola o due persone insieme, o tre o quattro, ma non vedete mai uscire mezza persona o un quarto di persona.

Allo stesso modo un atomo può emettere un quanto più grande o un quanto più piccolo (cioè una quantità di energia più grande o più piccola), può emetterne due o tre... alla volta, ma non può emetterne mezzo o un quarto.

Luce e raggi X

Quando un elettrone salta da un'orbita più esterna a una più interna, emette un quanto di energia; ma... sotto quale forma esso emette questa energia?

Un quanto di energia viene emesso sotto forma di un gruppetto di onde elettromagnetiche. Ecco dunque che, aggirandoci in questa terra sconosciuta, incontriamo, fortunatamente, un gruppo di conoscenti; perchè voi certamente ricorderete — vero? — le onde elettromagnetiche e ricorderete anche che ogni onda elettromagnetica è caratterizzata dalla sua frequenza, cioè dal numero di onde al secondo.

Un quanto di energia, dunque, viene emesso sotto forma di onde elettromagnetiche: ma che frequenza hanno queste onde? Sono onde di piccola frequenza (cioè quelle onde che vengono usate nelle trasmissioni radio) o sono onde luminose (cioè di

frequenza più grande) o raggi ultravioletti (di frequenza più grande ancora), o raggi X...?

Per poter rispondere a questa domanda, devo prima dire una cosa che finora ho tenuto accuratamente nascosta per non complicare troppo le cose. Già sappiamo che la differenza di energia tra le due orbite contigue non è sempre la stessa ma che le orbite sono raggruppate in strati. Ma — ed ecco la cosa che avevo tenuto accuratamente nascosta — la differenza di energia tra due orbite del primo strato *non* è eguale alla differenza di energia tra due orbite contigue del secondo o del terzo o del quarto... strato. Le orbite vanno addensandosi man mano che si procede verso l'esterno, così che la differenza di energia tra la prima orbita del secondo strato e l'ultima del primo è maggiore della differenza tra la prima del terzo strato e l'ultima del secondo, che è a sua volta maggiore...

Perciò se un elettrone si mantiene, per così dire, alla larga dal nucleo e si accontenta di saltare dall'una all'altra delle orbite più esterne, per esempio dalla quindicesima alla quattordicesima, emette un quanto che ha una energia minore dell'energia del quanto che emetterebbe se saltasse, per esempio, dalla terza orbita alla seconda.

Ora voi ricordate che un quanto viene emesso sotto forma di onde elettromagnetiche. Ebbene — e vi prego di far bene attenzione, perchè sto per enunciarvi uno dei principi base della fisica atomica, un principio che procurò al suo scopritore nientedimeno che il premio Nobel — ebbene, *quanto maggiore è l'energia del* quanto, *tanto maggiore è la frequenza delle onde elettromagnetiche.*

Quindi quando un elettrone salta da una delle orbite più esterne su una contigua, emette un'onda elettromagnetica di frequenza più piccola della frequenza dell'onda che emette un elettrone che salti, per esempio, dalla terza orbita sulla seconda. Nel primo caso l'atomo emette luce o, al massimo, raggi ultravioletti, nel secondo caso emette raggi X.

Se quindi la perturbazione esterna non è tanto energica e se essa riesce perciò soltanto a far saltare su un'orbita più esterna uno o due degli elettroni che si trovavano più lontani dal nucleo, questi elettroni, tornando in posizione stabile, cioè sulla loro

orbita di partenza, emettono energia sotto forma di luce; se invece la perturbazione è abbastanza violenta, riesce a strappare all'atomo uno dei suoi elettroni più interni; un altro elettrone salta subito nel posto vuoto, emettendo una radiazione X.

Ritornando al tubo di Crookes

Non so se, quando vi ho fatto la debita presentazione del tubo del signor Crookes, avete fatto attenzione a una cosa: vi ho detto allora che nell'interno del tubo chiuso si trovava un gas molto *rarefatto*. Molto probabilmente queste due parole vi sono sfuggite; esse invece sono assolutamente necessarie perchè, se nell'interno del tubo il gas non è molto rarefatto, i raggi catodici non compaiono affatto: la scarica avviene, ma, invece di veder sulla parete destra del tubo la macchia fluorescente che indica il punto ove va a battere il fascetto di raggi catodici, vediamo che tutto il gas contenuto nel tubo diventa luminoso. È proprio ciò che accade in quei fratelli gagà del tubo di Crookes — quelli abbelliti con ghirigori e volute — nei quali il gas *non deve essere molto rarefatto*.

Dunque, se il tubo contiene una quantità piuttosto grande di gas, durante la scarica osserviamo che questo gas diventa luminoso; se invece il gas è molto rarefatto, ecco comparire il fascetto di raggi catodici. Quale è la ragione di questa profonda differenza di comportamento?

Cominciamo con il supporre che nel tubo vi sia parecchio gas, che esso cioè sia pieno di un numero enorme di atomi di questo gas. Avviene la scarica, il catodo emette qualche elettrone che parte dal catodo a grande velocità; ma le sue bellicosissime intenzioni vengono immediatamente debellate. Perchè questo povero elettrone non è ancora riuscito a fare un passo — che dico un passo! nemmeno un pezzettino di strada piccolo così — che va a urtare contro uno di quegli atomi che, in numero enorme, pullulano nel tubo. Uno degli elettroni planetari più esterni di questo atomo, approfitta subito della inaspettata e graditissima

visita: sottrae un po' di energia al visitatore e se ne serve per saltare su un'orbita più esterna. Intanto l'elettrone visitatore, leggermente infiacchito per la perdita di quel po' di energia rubatagli dall'elettrone planetario di quel primo atomo che ha incontrato sulla sua strada, riprende il suo cammino. Ma urta contro un altro atomo e, di nuovo, cede a un elettrone planetario un po' della sua energia...; e così, a furia di cedere a ogni piè sospinto un po' di energia, il povero elettrone finisce col perderla tutta e resta così in balìa del primo atomo ionizzato che trova, che lo cattura immediatamente.

Intanto quegli elettroni planetari di tutti gli atomi, contro i quali l'elettrone ha successivamente sbattuto, sono fatalmente costretti a risaltare sull'orbita di partenza, rendendo così il mal tolto, rimettendo cioè quell'energia che avevano sottratto all'elettrone urtante; e poichè si tratta di elettroni planetari piuttosto esterni (dato che l'elettrone urtante non era abbastanza energico da riuscire a strappare agli atomi uno dei pianeti interni) tutti questi atomi, ritornando nel loro stato normale, emetteranno quanti sotto forma di onde luminose. Ecco perchè, quando nel tubo c'è parecchio gas, questo gas ci appare luminoso e non si parla affatto di raggi catodici.

Togliamo ora una certa quantità di gas, in modo che resti nel tubo un gas molto rarefatto, in modo cioè da avere soltanto pochi — relativamente — atomi scaglionati qua e là.

Accadrà ancora che qualcuno degli elettroni emessi dal catodo vada a urtare uno di questi atomi sparsi, ma la maggior parte di essi trova il cammino sgombro e può, finalmente, precipitarsi sulla parete di contro insieme a quegli elettroni che sono stati abbandonati da qualche atomo che è diventato ione; perchè ora nel tubo coabitano quelle tre popolazioni — ricordate? — degli atomi intatti, degli ioni e degli elettroni liberi. Ecco quindi i raggi catodici.

Ed ora devo dire una cosa che non ho mai detto (mi perdonate di avervi tenuto nascoste tante cose?). La parete del tubo colpita dai raggi catodici, non soltanto diventa fluorescente, ma emette anche raggi X. Perchè? È presto detto.

Gli atomi della sostanza di cui è costituita la parete del tubo, sono perturbati, durante la scarica, dai raggi catodici che

vengono a sbattervi contro a grandissima velocità; questa perturbazione è tanto violenta che a quegli atomi vengono strappati alcuni elettroni degli strati più interni; elettroni più esterni si precipitano immediatamente sui posti vuoti, emettendo così quanti di energia piuttosto grande, cioè radiazioni elettromagnetiche di grande frequenza : essi emettono raggi X.

Ecco tutto. Raggi X e luce non hanno oramai per noi nulla di misterioso. Essi hanno origine dall'atomo; essi sono le sue radiazioni.

Tutte le volte che un elettrone planetario salta da un'orbita più esterna a una più interna, l'atomo emette una radiazione elettromagnetica: e saranno radiazioni ultraviolette o luce o radiazioni infrarosse, se l'elettrone ruota abbastanza lontano dal nucleo, sarà radiazione X se l'elettrone era uno degli abitanti degli strati più interni.

I raggi gamma e le onde della radio

Sono ora sicuro che voi, ricordando la scala delle radiazioni elettromagnetiche, vi state chiedendo la ragione della mia parzialità. Ho accuratamente descritto la nascita delle radiazioni visibili e dei raggi X; ma perchè trascurare le radiazioni elettromagnetiche di frequenza maggiore dei raggi X, cioè i raggi gamma, e quelle di frequenza minore dei raggi infrarossi, cioè le onde della radio?

Ma semplicemente perchè esse non trovano posto in tutte queste chiacchiere sull'atomo e sui suoi elettroni planetari. Soltanto i raggi X e le radiazioni luminose (comprese le ultraviolette e le infrarosse) hanno origine dai salti degli elettroni da un'orbita a un'altra; la nascita dei raggi gamma e delle onde della radio ha un meccanismo diverso.

Della nascita dei raggi gamma è esclusivamente responsabile il nucleo atomico. Della nascita delle onde della radio, invece, non è responsabile nè l'atomo nè il suo nucleo. Una antenna di

ONDE RADIO (FREQUENZA TRA 3×10^{4} E 3×10^{9} ONDE AL SEC.)
RAGGI INFRAROSSI (4×10^{14})
RAGGI VISIBILI (TRA 4×10^{14} E $7{,}5 \times 10^{14}$)
RAGGI ULTRAVIOLETTI (TRA $7{,}5 \times 10^{14}$ E $1{,}6 \times 10^{15}$)
RAGGI X (TRA $1{,}5 \times 10^{17}$ E 3×10^{19})
RAGGI GAMMA (3×10^{20})

...RICORDANDO LA SCALA DELLE RADIAZIONI ELETTROMAGNETICHE...

una stazione radio trasmittente è essenzialmente costituita da un filo metallico percorso da una corrente elettrica rapidamente variabile nel tempo; questo filo irradia nello spazio onde elettromagnetiche; e poichè una corrente elettrica entro un filo metallico non è che un flusso di elettroni, possiamo dire — in questo senso — che, in ultima analisi, i soli responsabili della nascita delle onde della radio sono gli elettroni liberi; quegli elettroni cioè che si sono liberati della schiavitù atomica, delle sue strane leggi di rotazione, delle sue orbite permesse e proibite.

Ed ora potete annoverare l'atomo tra i vostri amici; poichè ora conoscete ormai la sua costituzione, le sue leggi, le sue radiazioni. Un piccolo, strano amico.

Ho chiacchierato forse un po' troppo a lungo e ve ne chiedo perdono: ma questo piccolo mondo atomico è così diverso dal nostro mondo, le sue leggi sono così impensate, il modo di comportarsi dei suoi abitanti è così strano, che in verità era difficile essere più brevi; e spero che non mi farete sospirare troppo la vostra assoluzione.

IL NUCLEO ATOMICO E LE PARTICELLE ELEMENTARI

Il nucleo atomico

E continuiamo ora il nostro viaggio di esplorazione, sempre più profondo... Lasciamo gli elettroni planetari dell'atomo alla loro eterna rotazione e avviciniamoci, pieni di curiosità, al sole di questo grazioso, piccolo sistema planetario: ecco dinanzi a noi il nucleo atomico.

In questo nucleo è concentrata praticamente tutta la massa dell'atomo; non si deve però pensare che per questa ragione le dimensioni del nucleo siano molto maggiori delle dimensioni di un elettrone; niente affatto: *nucleo ed elettrone hanno le stesse dimensioni*.

Supponiamo, grossolanamente, che essi abbiano la forma di palline; ebbene un nucleo, come un elettrone, è una pallina il cui raggio è di 10^{-12} centimetri, cioè di un milionesimo di milionesimo di centimetro; l'atomo invece ha, più o meno, un raggio di 10^{-8} centimetri, cioè di un centimilionesimo di centimetro; se rappresentiamo un atomo come una enorme palla che abbia il

diametro di un chilometro, il suo nucleo sarà una pallina di dieci centimetri di diametro.

Perciò, nell'interno di un atomo, il nucleo e gli elettroni planetari sono proprio spersi; un atomo è, in grandissima parte, vuoto.

Questo nucleo atomico, questa piccolissima pallina il cui raggio è di un milionesimo di milionesimo di centimetro, è anche esso un mondo, con i suoi abitanti e le sue leggi. Quali sono questi abitanti e quali sono le leggi che regolano la loro esistenza? È proprio ciò che mi propongo di dire in queste ultime mie chiacchiere; però, purtroppo, non potrò dirvi tutto, perchè ci stiamo avvicinando al limite delle conoscenze attuali, a quel limite indefinito che si perde tra le ipotesi e i tentativi. I fisici sono oggi tutti intenti, chini sul nucleo atomico, scrutandolo, provocandolo perchè finalmente sveli i suoi segreti; ma — ahimè — esso è ancora trincerato in un'ultima difesa, è ancora sordo alle provocazioni e alle lusinghe, ancora mantiene stretto il suo ultimo segreto.

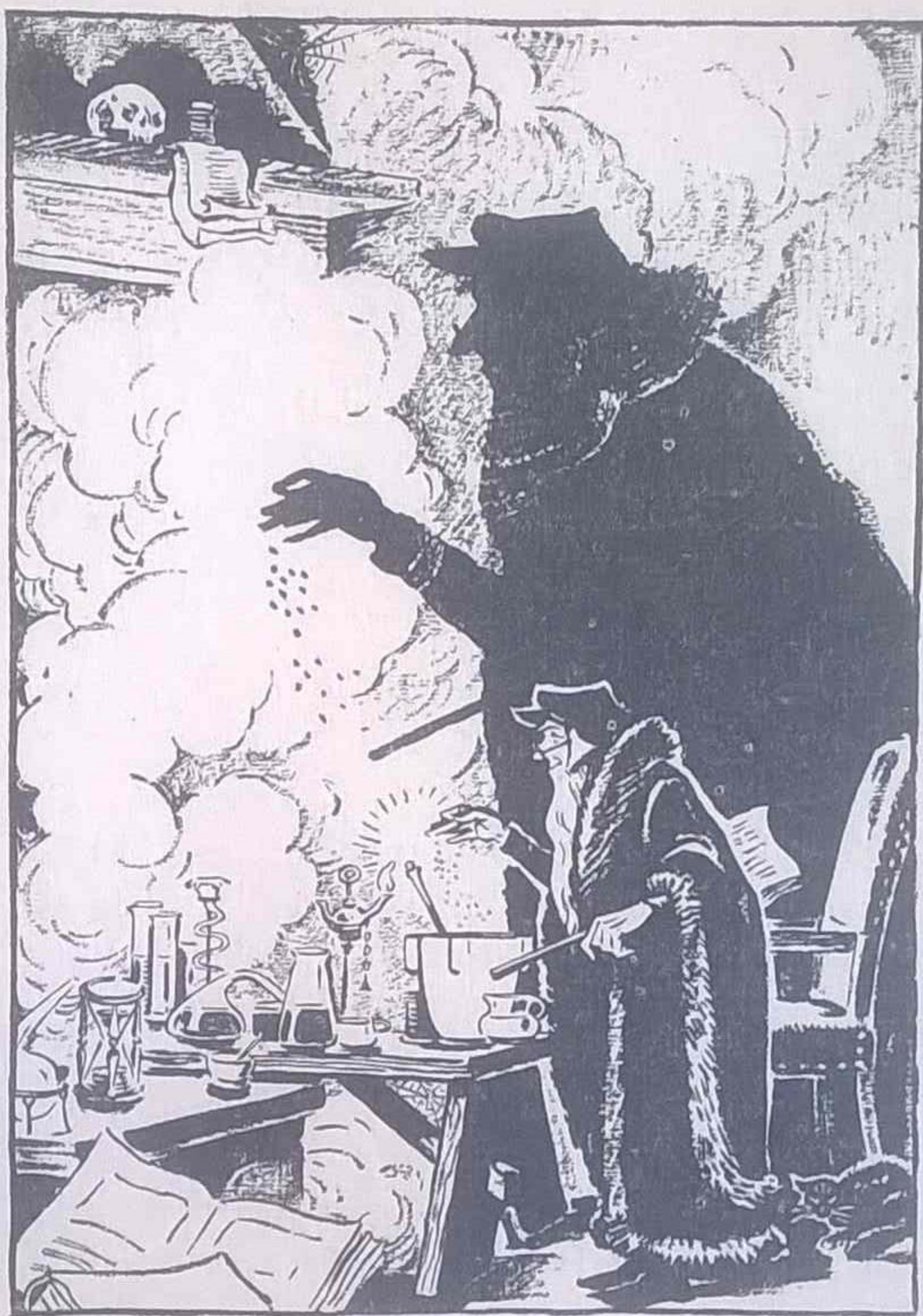
Vi accompagnerò vicino a quel limite indefinito e vi saluterò lì, tesi forse anche voi verso quel segreto ancora inviolato.

Ma come giungere nell'interno di questo nucleo? Come spezzarlo per riuscire ad esplorare il suo interno?

Devo subito dirvi che i mezzi che dobbiamo usare per questa esplorazione sono assolutamente diversi dai soliti mezzi chimici e fisici.

I nuclei atomici dei novantadue elementi chimici sono diversi l'uno dall'altro; diversi per massa e diversi per carica elettrica. Per esempio: il nucleo dell'atomo di idrogeno ha carica elettrica + 1 e massa 1,008; quello dell'ossigeno ha carica + 8 e massa 16; ...quello dell'oro ha carica + 79 e massa 197,2; ...quello dell'uranio ha carica + 92 e massa 238,2.

Quindi penetrare in un nucleo atomico (spezzandolo o trasformandolo) vuol dire trasmutare un elemento in un altro; vuol dire realizzare il vecchio sogno degli alchimisti. Oggi però noi sorridiamo al ricordo dei mezzi che per secoli questi alchimisti — così decorativi con i loro vestiti fluttuanti, con i loro misteriosi e cupi laboratori — hanno usato per trasformare un

metallo vile in purissimo oro. Essi, che sono i veri precursori dei chimici moderni, usavano mezzi chimici, riscaldavano, evaporavano, filtravano, pestavano, amalgamavano... Ma noi sappiamo oggi che con qualsiasi mezzo chimico si riesce a scomporre una sostanza nei suoi elementi componenti, si riesce a comporre diversi elementi componenti in una nuova sostanza...; ma gli elementi chimici che si pongono in gioco all'inizio del riscaldamento, dell'evaporazione, dell'amalgama, sono esattamente gli stessi che, alla fine di tanta fatica, ci troviamo dinanzi più o meno riuniti insieme a formare qualche nuova sostanza. Un chimico che manipoli le sue sostanze non riesce a raggiungere un nucleo di un atomo più di quanto un bimbo, che faccia e disfaccia una costruzione con i suoi cubi, riesca a penetrare nell'interno di uno di questi.

... CON I LORO MISTERIOSI E CUPI LABORATORI...

Abbandoniamo quindi la speranza di riuscire al nostro scopo servendoci dei comuni metodi chimici e rivolgiamoci altrove.

Con qualche mezzo fisico riusciremo a penetrare un po' più

addentro nell'atomo. Una scarica elettrica infatti — come oramai ben sappiamo — riesce a strappare a un atomo qualcuno o anche tutti i suoi elettroni esterni; ma questo nucleo, che resta lì nudo e indifeso, è ancora intatto e inviolato. Se usiamo un qualche mezzo fisico di questo genere siamo nelle condizioni di una bimba che si illuda di poter scoprire il meccanismo interno di una bambola che chiami papà e mamma, semplicemente spogliandola del suo vestitino, della sua sottoveste e — scusatemi — delle sue mutandine.

La radioattività naturale

Quindi niente da fare. Ma ecco che — sempre benefica — ci viene incontro madre Natura, la quale ci permette di assistere a un fenomeno nel quale il nucleo atomico di un elemento si trasforma spontaneamente nel nucleo di un altro elemento. Fortuna veramente insperata che fa risorgere le nostre speranze.

Questo fenomeno è la *radioattività naturale,* che fu scoperta nel marzo del 1896 dal fisico francese Becquerel, al quale fu assegnato, per questa scoperta, il premio Nobel per la fisica. Le sue ricerche furono riprese e completate, con un insieme di lavori veramente poderosi, da Maria Curie, la quale fu l'unica persona al mondo detentrice di due premi Nobel: uno per la fisica e uno per la chimica; però le donne, quando ci si mettono...

Ecco, in parole povere, in che cosa consiste questo fenomeno della radioattività. Esistono in natura alcuni pochi elementi chimici — e primo fra tutti il radio (massa 226, carica nucleare + 88) — il cui nucleo atomico ha la strana proprietà di essere instabile; esso, cioè, può restare invariato per lunghissimo tempo, anche per secoli o millenni; ma a un certo punto spontaneamente esplode e, per così dire, spara un proiettile; vedremo subito di che natura sono questi proiettili. Come risultato di questa esplosione, il nucleo si è trasformato nel nucleo di un altro elemento chimico: per esempio un atomo di radio, che è un metallo alcalino terroso, si trasforma così in un atomo di emanazione di radio

o radon, che è il più pesante dei gas nobili ed ha massa 222 e carica elettrica nucleare + 86.

Come vedete, questo fenomeno è per noi proprio come quel cacio su quei famosi maccheroni. Che cosa potevamo desiderare di più? Ecco bella e pronta una trasformazione di un elemento in un altro.

M. CURIE

Raggi alfa e raggi beta

I proiettili sparati da questi *elementi radioattivi* — da questi elementi, cioè, il cui nucleo atomico presenta la strana proprietà di esplodere spontaneamente — sono di tre tipi diversi: essi hanno ricevuto il nome di raggi alfa, raggi beta e raggi gamma.

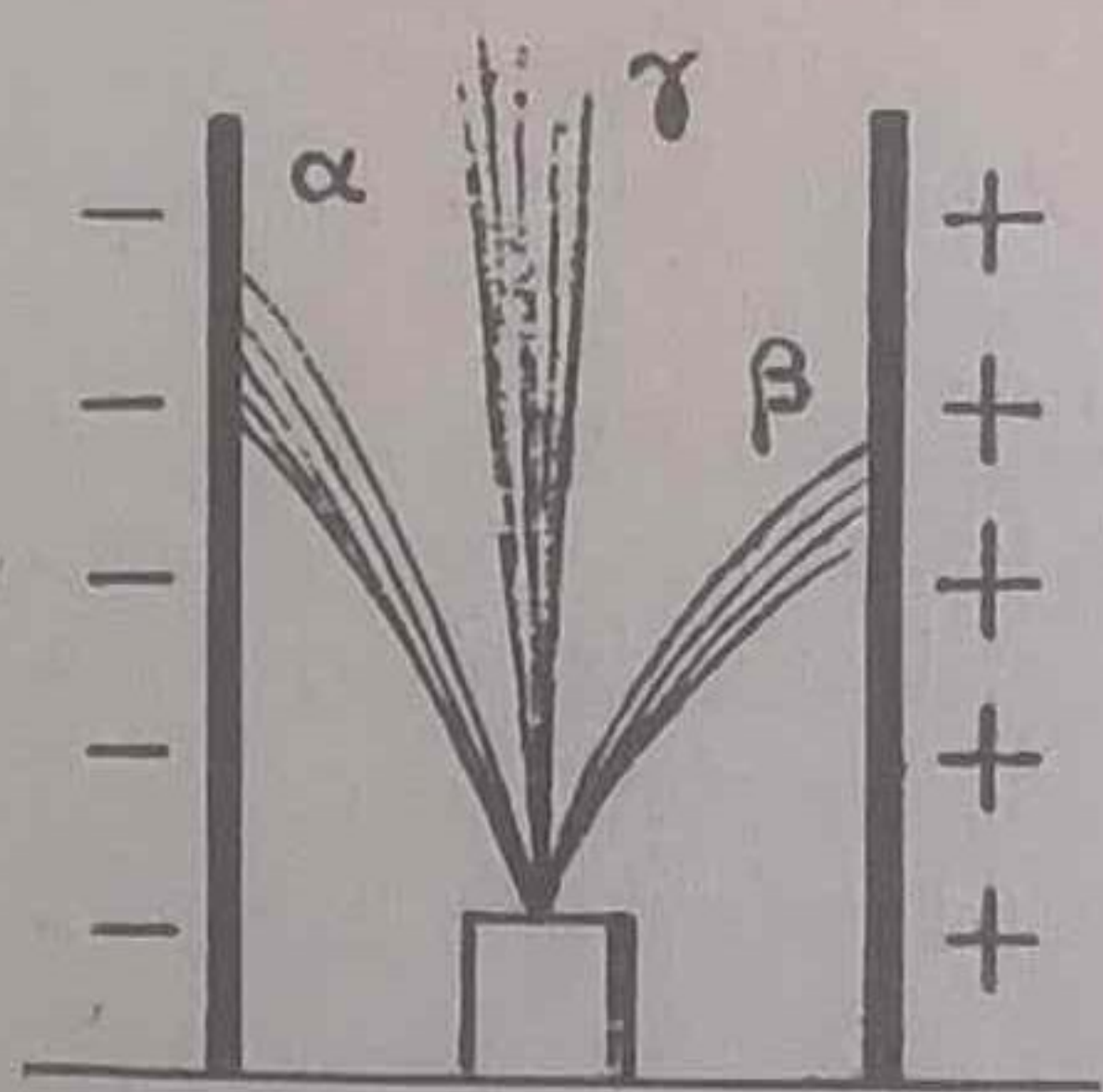
I raggi alfa e i raggi beta sono radiazioni corpuscolari. Le *particelle alfa,* che costituiscono la prima radiazione, sono nè più nè meno che *nuclei di elio,* cioè sono i nuclei atomici di quell'elemento chimico che, nella tabella di Mendelejew, occupa il secondo posto: un nucleo di elio, cioè una particella alfa, ha carica elettrica + 2 e massa 4.

Quando perciò dico, per esempio, che un atomo di radio, emettendo una particella alfa, si trasforma in un atomo di emanazione di radio, intendo dire che al momento dell'esplosione il nucleo dell'atomo di radio ha sparato un nucleo di elio; dopo l'esplosione ciò che resta del nucleo di radio è appunto il nucleo di un atomo di emanazione.

I raggi beta, invece, sono semplicemente costituiti da elettroni; dire particella beta è lo stesso che dire elettrone. E mentre

la velocità con cui viene emesso un proiettile alfa (cioè un nucleo di elio) varia dai 12.000 ai 20.000 chilometri al secondo, gli elettroni che costituiscono i raggi beta possono avere velocità variabile; alcune sostanze radioattive emettono particelle beta che hanno una velocità tanto grande da avvicinarsi molto alla velocità della luce (300.000 chilometri al secondo).

Dunque i raggi alfa sono — da un punto di vista elettrico — raggi positivi, mentre i raggi beta sono raggi negativi. Ed ecco una esperienza che serve a porre molto bene in evidenza questa differenza tra le radiazioni alfa e beta. Prendiamo un blocchetto di piombo, nel quale abbiamo fatto una piccola cavità, e poniamo in questa cavità un granulo di sostanza radioattiva. Il blocchetto di piombo assorbe tutte le radiazioni emesse dalla sostanza; queste radiazioni perciò usciranno soltanto dalla cavità, sotto forma di un sottile fascetto.

Poniamo ora questo blocchetto tra due lastre metalliche parallele, collegate con gli estremi di una pila: una di queste lastre sarà ricca positivamente e l'altra negativamente. Ebbene, il fascetto di radiazioni, emesso dal granulo di sostanza radioattiva, si divide allora in tre altri fascetti; di questi uno si inclina verso la lastra positiva, uno verso la lastra negativa e il terzo prosegue in linea retta. Evidentemente il fascetto che si piega verso la lastra negativa deve essere costituito da particelle che portano una carica elettrica positiva; e sono queste le particelle alfa, cioè i nuclei di elio, i quali hanno carica +2. Il fascetto che si piega verso la lastra positiva, invece, deve essere costituito da particelle che portano una carica elettrica negativa: e sono le particelle beta, cioè gli elettroni, che sono le più piccole cariche elettriche negative esistenti in natura.

E il fascetto che prosegue imperturbabile in linea retta, senza mostrare nemmeno di accorgersi delle lastre metalliche e della loro carica? Di che cosa è costituito? Leggete la prossima puntata e troverete la risposta.

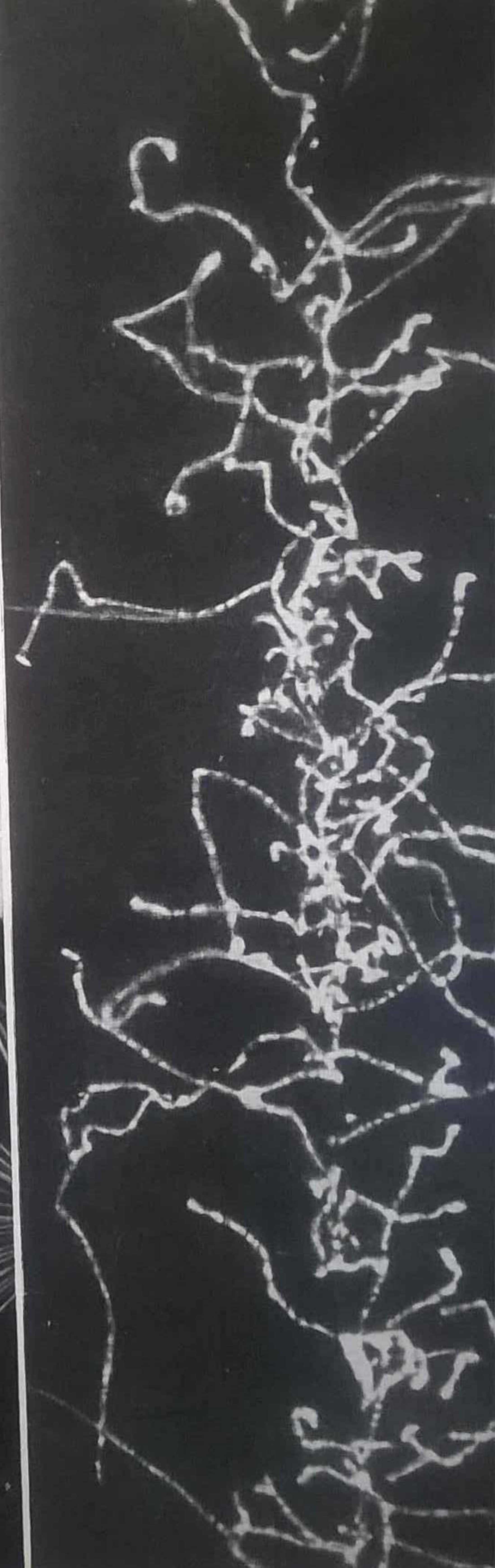



TAVOLA XVI

1. - Tracce di particelle alfa in camera di Wilson.

2. - Tracce di elettroni (particelle beta) in camera di Wilson.

3. - Un pennellino di raggi gamma genera nell'aria, lungo il suo percorso, elettroni di bassa energia (fotografia in camera di Wilson).

Raggi gamma

Il terzo fascetto se ne va diritto per la sua strada perchè, non essendo una radiazione corpuscolare e non possedendo quindi una carica elettrica, non si interessa affatto delle cariche altrui. Questi *raggi gamma sono radiazioni elettromagnetiche,* cioè sono radiazioni dello stesso tipo dei raggi luminosi, dei raggi X e delle onde della radio. E sono radiazioni elettromagnetiche che hanno la frequenza più grande di tutte le altre, come potete vedere nella solita scala delle radiazioni elettromagnetiche della pagina 359.

Quando un nucleo di un atomo radioattivo esplode, caccia via un frammento che, a seconda dei casi, sarà o una particella alfa o una particella beta; ciò che rimane si riorganizza per formare un nuovo nucleo diverso dal precedente. Qualche volta, nel riorganizzarsi, il nucleo residuo si trova una certa quantità di energia in più, energia che esso emette sotto forma di raggi gamma.

È questo, molto grossolanamente, il meccanismo di una trasformazione radioattiva.

Ciò che accade lungo il cammino dei raggi alfa, dei raggi beta e dei raggi gamma

Le due radiazioni corpuscolari emesse dalle sostanze radioattive — le particelle alfa e le particelle beta —, queste due radiazioni così diverse, hanno però una proprietà comune. Esse, quando attraversano un gas, trasformano in ioni gli atomi che trovano sul loro cammino, strappando qualcuno dei loro elettroni planetari; esse, cioè, ionizzano il gas che attraversano.

Una particella alfa (cioè un nucleo di elio) ha una massa che è circa 7000 volte maggiore della massa di una particella beta, cioè di un elettrone; è abbastanza intuitivo che una particella alfa, a causa appunto di questa massa maggiore, debba pro-

durre lungo il suo cammino un numero di ioni più grande che non una particella beta.

Le particelle alfa e le particelle beta sono dunque corpuscoli la cui traiettoria in un gas è segnata da uno scaglionamento più o meno fitto di ioni; naturalmente esse, durante tutto il loro cammino, a furia di cedere un po' della loro energia a ognuno degli atomi che ionizzano, finiscono col perderla tutta.

Nemmeno i raggi gamma riescono ad attraversare impunemente uno strato di gas; essi però, invece di perdere poco per volta la loro energia cedendola a tanti, tanti atomi, un pochino ad ognuno di essi, la perdono in un botto solo o, al massimo, la perdono in un piccolo numero di volte.

Il raggio gamma arriva e comincia a camminare nel gas; (è un camminare che è poi un precipitarsi poichè — ricordiamolo — i raggi gamma, come tutte le altre radiazioni elettromagnetiche, si spostano con la velocità di 300.000 chilometri al secondo); dunque eccolo che cammina indisturbato, quando va a sbattere contro un atomo o contro un elettrone cedendogli tutta o quasi tutta la sua energia; la particella urtata fugge via ad altissima velocità e, proprio come facevano le particelle alfa e le particelle beta emesse da una sostanza radioattiva, si affretta a perdere l'energia cedutale dal raggio gamma distribuendola lungo il cammino a tutti gli atomi che incontra, trasformandoli in ioni; un pochino di energia a ogni atomo, imparzialmente.

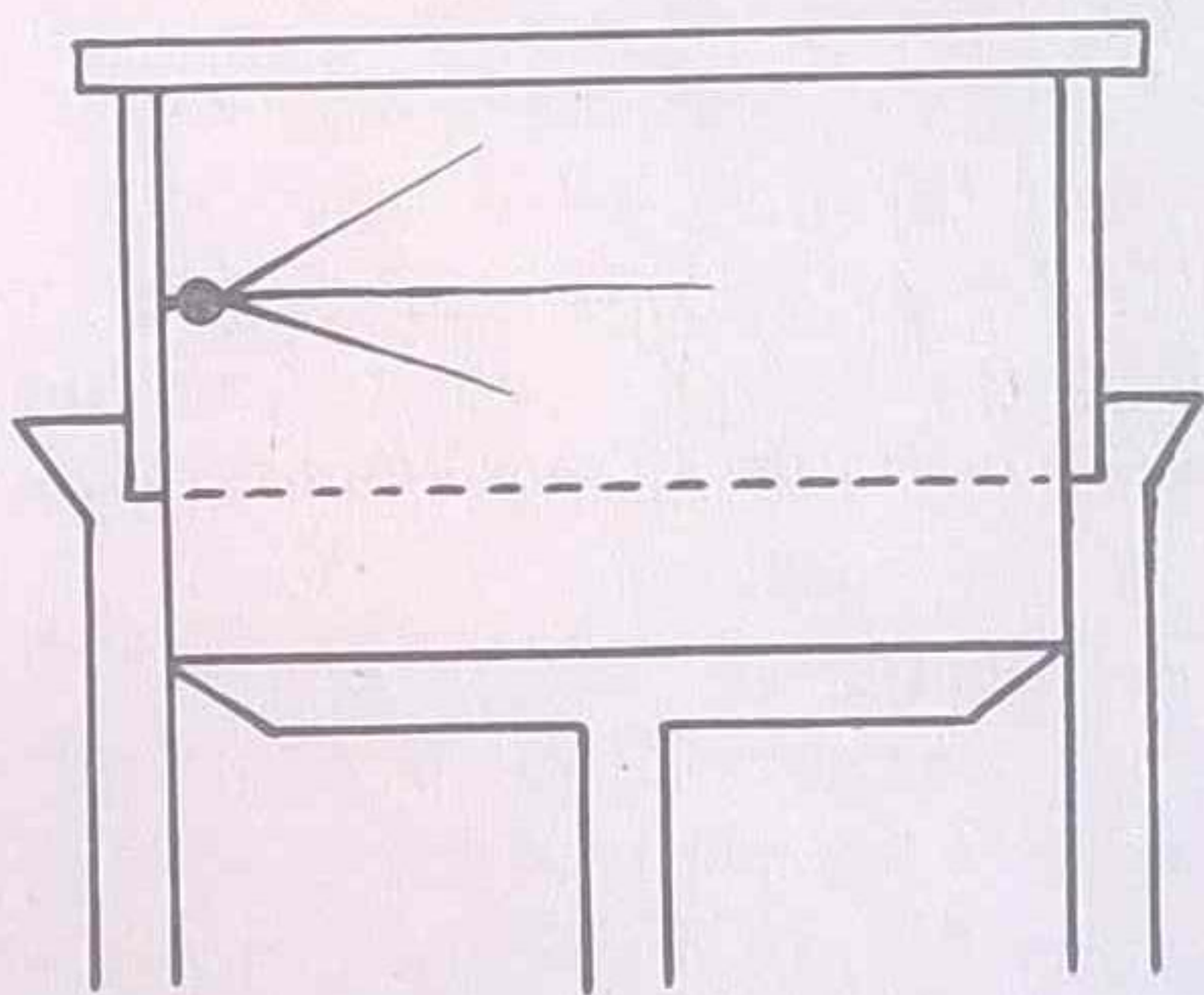
Quindi mentre una particella alfa o una particella beta semina lungo *tutta* la sua traiettoria una fila ininterrotta di ioni, il cammino di un raggio gamma è segnato da qualche corpuscolo che ne sfugge di qua o di là ionizzando gli atomi lungo la sua breve traiettoria divergente.

La nebbiosa camera di Wilson

Un pezzettino di sostanza radioattiva — per esempio un pezzettino di radio — che appare lì fermo, immobile, innocuo, è in realtà il centro di un silenzioso, caotico brulichio; poichè da esso sfuggono continuamente in ogni direzione corpuscoli che corrono a velocità inverosimile, mentre accanto ad essi pas-

sano onde elettromagnetiche di frequenza enorme. Come possiamo rivelare questi corpuscoli e queste onde che il nostro occhio non vede e il nostro orecchio non sente?

I fisici hanno ideato tre o quattro apparecchi diversi i quali, più o meno bene, possono servire a questo scopo. Ma il più mirabile tra tutti è la cosiddetta « camera di Wilson » (dal nome del fisico che la ha inventata), la quale ci permette di vedere le particelle emesse da una sostanza radioattiva, di vedere come esse si muovono e come vengono deviate; che ci permette insomma di seguirle passo passo lungo il loro cammino.

Non vorrei che, a sentirmi parlare di camera, voi immaginaste una stanza; questo apparecchio è stato battezzato « camera » perchè è essenzialmente costituito da un piccolo spazio limitato da pareti; ma lo spazio è piccolo — circa 3×10×10 cm. — e, nel suo interno, di letti e comodini nemmeno l'ombra; nel suo interno soltanto nebbia.

SCHEMA DI CAMERA DI WILSON

Ma è meglio procedere con ordine. Prima di tutto, che cosa è la nebbia? La nebbia è formata da un gran numero di goccioline d'acqua, al centro di ciascuna delle quali si trova un granellino di pulviscolo atmosferico. In condizioni normali, l'umidità atmosferica non può superare un certo valore, raggiunto il quale l'aria è satura di vapore d'acqua; quando questa aria satura si raffredda, una parte del vapore si condensa e si trasforma in acqua. Però può accadere che l'aria si raffreddi un po' bruscamente, come accade, per esempio, al cader della notte; in questo caso il vapore d'acqua non ha il tempo di condensarsi e l'aria perciò — come si dice — resta soprasatura di vapore: essa cioè contiene una quantità di vapore acqueo maggiore di quello che dovrebbe contenere in quelle condizioni.

Ora, i vapori soprasaturi sono instabili e qualsiasi impurità presente in essi ne produce la condensazione; così il pulviscolo atmosferico agisce da centro di condensazione; intorno a ogni granellino di questo pulviscolo si forma una gocciolina che è così piccola e così leggera, che può restare sospesa nell'aria: ecco la nebbia. Le città industriali come Londra, nella cui atmosfera le ciminiere degli stabilimenti scaricano continuamente piccole impurità che rendono più denso il pulviscolo atmosferico, sono avvolte per lunghi mesi in fittissime nebbie; infatti non appena, per speciali condizioni climatiche, l'aria diventa soprasatura, il vapore acqueo trova a sua disposizione, per condensarsi in goccioline, un grandissimo numero di granellini: ecco quindi una nebbia fittissima.

Ed ora che sappiamo che cosa è la nebbia, torniamo alla camera di Wilson. Questo fisico si accorse che non soltanto le particelle del pulviscolo atmosferico possono diventare (in condizioni adatte) centri di condensazione per il vapore acqueo soprasaturo, ma che anche gli ioni funzionano ottimamente da nuclei di condensazione.

Certamente vi rendete conto della enorme importanza di questa osservazione. Infatti, ricordate che una particella alfa e una particella beta, attraversando un gas (per esempio aria) producono una fila di ioni? Ebbene, se questa aria è soprasatura di vapore acqueo, intorno a ognuno di questi ioni esso si condensa sotto forma di una gocciolina. Il risultato finale sarà un filo di nebbia (che, con una opportuna illuminazione, si può rendere molto luminoso e brillante) il quale segna, con ogni particolare, il cammino seguito da quella particella.

È stato detto che questa è l'esperienza più bella della fisica moderna; dove trovare infatti un'esperienza più elegante nella sua semplicità?

La camera di Wilson serve appunto, con un semplicissimo sistema, a produrre un vapore soprasaturo che si condensi intorno agli ioni; una macchina fotografica, opportunamente disposta, scatta all'istante della formazione dei fili di nebbia; e così ecco dinanzi a noi, con tutte le loro particolarità, i percorsi di quelle particelle che i nostri occhi mortali non riescono a vedere.

Fotografie in camera di Wilson

È molto facile riconoscere a che tipo di particella è dovuto un filo di nebbia fotografato in una camera di Wilson.

Una particella alfa, a causa della sua grande massa, forma nell'aria un gran numero di ioni e precisamente oltre diecimila per ogni centimetro di percorso; inoltre essa, sempre per la sua grande massa, non viene deviata affatto dagli urti contro i leggerissimi elettroni planetari degli atomi che ionizza e il suo cammino perciò è rettilineo. Di conseguenza la scia nebbiosa di una particella alfa sarà grossa e rettilinea (fig. 1 della tavola a pag. 368).

Una particella beta invece, cioè un elettrone, produce soltanto un centinaio di ioni per centimetro ed è soggetta ad essere deviata dagli urti con gli altri elettroni; la sua nebbiosa scia quindi sarà sottile e tortuosa (fig. 2 della tavola a pag. 368). Vedete però quelle tracce sottili e diritte che attraversano la fotografia dal basso in alto? Anche esse sono traiettorie di elettroni, ma di elettroni così veloci che riescono ad andare diritti per la loro strada senza distrarsi e senza deviare.

Vi ho mostrato fotografie di particelle alfa e di particelle beta. Vi piacerebbe vedere la fotografia di un raggio gamma? Vi accontento subito; naturalmente però non dovete aspettarvi di vedere un filo di nebbia perchè, se ricordate, un raggio gamma non produce ioni lungo il suo cammino ma, di tanto in tanto, urta contro un elettrone cedendogli una gran parte della sua energia: questi elettroni partono allora per proprio conto. Guardate la fig. 3 della tavola a pag. 368; le tracce sono dovute a elettroni urtati; i loro punti di partenza sono allineati su una stessa retta che è la traiettoria del raggio gamma.

Ecco che cosa è capace di mostrarci questa piccola, meravigliosa camera nebbiosa.

Realizzazione di un antico sogno

Ma lasciamo che, nelle mani dei fisici, la camera di Wilson continui a lavorare senza posa e torniamo alle sostanze radioattive.

Dinanzi a una trasformazione radioattiva, l'uomo deve accontentarsi di mantenere il ruolo di semplice spettatore; egli non può nè accelerarla nè ritardarla poichè i mezzi che esso ha a sua disposizione (reazioni chimiche, altissime temperature, scariche elettriche...) agiscono soltanto sugli elettroni esterni dell'atomo mentre il nucleo — cioè proprio quella parte dell'atomo che deve variare perchè si possa passare da un elemento a un altro — resta intatto, superbamente inviolato.

E i fisici si accontentarono di questo ruolo poco attivo di spettatori, fino all'anno 1919. In quell'anno un fisico il cui nome ci è già noto, Lord Rutherford, passò al ruolo di attore e riuscì a provocare una disintegrazione nucleare trasformando l'azoto in ossigeno.

Quale è quel mezzo potente che riesce là dove erano falliti gli ordinari metodi chimici e fisici? Quale arma usò l'illustre fisico per penetrare nell'interno del nucleo atomico?

La parola « arma » è in questo caso molto più appropriata di quanto voi possiate immaginare; perchè Lord Rutherford, dato che non si riusciva in nessun modo a raggiungere direttamente un nucleo atomico, fece proprio ciò che si fa quando si vuole raggiungere un bersaglio lontano; lo sottopose a un bombardamento. Naturalmente egli cercò proiettili che fossero adatti al bersaglio da colpire; la sua arma fu una piccola quantità di sostanza radioattiva e i suoi proiettili furono le particelle alfa che vengono emesse a grande velocità da questa sostanza.

Poichè non era possibile fare alcun puntamento, Lord Rutherford si accontentò di sparare così alla cieca questi strani proiettili contro una certa quantità di gas azoto; in questo modo vanno perduti moltissimi proiettili; ma qualcuno di essi raggiunge il bersaglio, raggiunge cioè un nucleo di un atomo di azoto e lo fa esplodere. Si tratta, naturalmente, di un'esplosione un po' speciale: perchè il nucleo colpito assorbe il proiettile, cioè la particella alfa, e caccia via con violenza una delle sue particelle costitutive, trasformandosi in un nuovo nucleo.

La particella che il nucleo espelle violentemente è un nucleo di idrogeno che, se ricordate, abbiamo chiamato protone; il nuovo nucleo nel quale si trasforma il nucleo di azoto è un nucleo di ossigeno. In definitiva quindi un nucleo di azoto assor-

be una particella alfa, emette un protone e si trasforma in un nucleo di ossigeno. Il secolare sogno degli alchimisti è, finalmente, diventato realtà.

Ma questo trasformarsi in un altro elemento — sotto l'azione del bombardamento con particelle alfa — emettendo un protone, non è una caratteristica del solo azoto. Diversi altri elementi fanno la stessa cosa.

Poichè quindi nuclei di diversi elementi chimici emettono protoni, dobbiamo pensare che *il protone sia uno dei costituenti di tutti i nuclei atomici;* è questa una cosa che già avevo detto quando parlavamo dell'atomo e che ora ha voluto qui giustificare.

Il neutrone

Non c'è da meravigliarsi se i fisici si precipitarono su questa nuova arma che ora avevano a disposizione per aggredire il nucleo e cominciarono a bombardare a tutto spiano; e non si accontentarono di bombardare con particelle alfa, ma usarono anche, come proiettili, i protoni.

Durante questa complessa, incruenta battaglia, condotta da artiglieri di tutte le nazionalità contro nuclei di tutti i generi, ci si trovò, a un tratto, dinanzi a un risultato inatteso. Bombardando con particelle alfa gli atomi di quell'elemento che occupa il quarto posto nella tabella di Mendelejew e che ha il nome di berillio, gli artiglieri trovarono che, quando un nucleo atomico di berillio è colpito da un proiettile alfa, assorbe — proprio come faceva l'azoto — questa particella e si trasforma in un nucleo di carbonio; esso però, invece di emettere un protone (cioè un nucleo di idrogeno) emette una nuova particella che fino allora i fisici non avevano mai incontrato lungo il loro faticoso cammino.

Se camminando per strada incontrate una persona sconosciuta, non ve ne preoccupate affatto e continuate la vostra strada; ma se, girando per casa, vi imbattete in una persona che non

avete mai visto e che non avevate il minimo sentore stesse passeggiando per il vostro appartamento, credo che restiate leggermente scossi e stupiti a guardarla, a meno che non abbiate la presenza di spirito di saltarle addosso.

Fu proprio quel che accadde a quei poveri fisici dinanzi ai cui occhi esterrefatti i nuclei di berillio, bombardati con particelle alfa, continuavano imperterriti a sputar fuori questa particella assolutamente sconosciuta; al primo momento restarono scossi e stupiti e poi le si lanciarono addosso con tutti i mezzi che avevano a loro disposizione: la pesarono, ne cercarono la carica elettrica, ne seguirono il cammino attraverso la materia e, finalmente, la... battezzarono.

Procediamo con ordine. È questa una *particella* che ha massa eguale a quella del protone ma — cosa molto strana — non ha nè carica elettrica negativa nè positiva; è elettricamente neutra; per queste ragioni fu battezzata *neutrone*. Essa percorre nella materia un cammino che è circa diecimila volte maggiore del cammino percorso da una particella alfa.

E, dopo averne ben conosciuti i connotati e dopo averla battezzata, i fisici l'ammisero tra le loro conoscenze e la posero accanto al protone come uno dei costituenti del nucleo atomico.

Di che cosa è fatto un nucleo atomico

Poichè il nucleo atomico può emettere, in condizioni opportune, sia protoni che neutroni, è logico pensare che esso sia costituito di protoni e di neutroni.

Ma si potrebbe chiedere: « un nucleo atomico emette protoni e neutroni, e va bene; ma un nucleo radioattivo, disintegrandosi, emette anche un altro tipo di particelle elementari: esso emette elettroni. Perchè, allora, dire che un nucleo è costituito di protoni e neutroni e non piuttosto di protoni, neutroni ed elettroni, come sarebbe logico aspettarsi? » Ebbene, in questo caso la logica ha torto; perchè esiste oggi in fisica un principio generale, noto sotto il nome di *principio di in-*

determinazione, che vieta nel modo più assoluto che un elettrone possa far parte di un nucleo atomico. Se un elettrone si trovasse in un nucleo, succederebbero cose da pazzi: esso, in un certo senso, comincerebbe ad agitarsi furiosamente di qua e di là, così pazzamente e con una tale energia che immediatamente ne scapperebbe fuori... (Se un fisico vero leggesse queste mie parole così spaventosamente approssimative, inorridirebbe e mi denuncerebbe subito alle pubbliche autorità.)

Se potessi spiegarvi questo principio di indeterminazione, restereste anche voi immediatamente convinti che un nucleo non può mai ospitare nel suo interno un elettrone; ma poichè non posso trascinarvi in un pelago di intricatissime e irte formule matematiche, siete costretti a fidarvi di me; ma se la vostra curiosità è troppo eccitata, prendete un libro serio e studiatelo attentamente; conoscerete così questo famoso principio che è oggi pacificamente accettato da tutti i fisici ma che dà ancora tanto da fare a tanti filosofi.

Per quanto un nucleo sia costituito di soli protoni e neutroni, pure ne possono venir fuori elettroni. Potrà sembrare un gioco di prestigio e invece, vi assicuro, non c'è nessun trucco, come tra un momento potrete rendervi conto.

È cosa molto facile calcolare quanti protoni e quanti neutroni sono contenuti nel nucleo atomico di un elemento. Consideriamo per esempio un nucleo di ossigeno; esso ha carica elettrica + 8 e massa 16. Poichè un neutrone non ha carica elettrica, necessariamente tutta la carica del nucleo è dovuta ai soli protoni; quindi in un nucleo di ossigeno vi saranno otto protoni. E poichè la massa di questo nucleo è 16, il numero dei neutroni sarà $16 - 8 = 8$. Così un nucleo di alluminio, che ha carica elettrica + 13 e massa 27, conterrà 13 protoni e $27 - 13 = 14$ neutroni. Un nucleo di elio (cioè una particella alfa) che ha carica + 2 e massa 4, conterrà 2 protoni e $4 - 2 = 2$ neutroni. È la cosa più semplice del mondo. In particolare un nucleo di idrogeno, che ha carica + 1 e massa 1, è costituito — come del resto già sapevamo — da un sol protone e da nessun neutrone.

E così, da buoni fratelli, i protoni e i neutroni coabitano in quella piccola pallina che ha il raggio di un milionesimo di milionesimo di centimetro e che si chiama nucleo atomico.

Quando io canto...

Ed eccoci ora a quegli elettroni che, pur non abitando nel nucleo, ne vengono fuori durante una trasformazione radioattiva. Come fanno?

È molto semplice. Quando parlo o canto (Dio vi liberi!) emetto la voce; questa voce non esisteva in me, ma io la creo all'istante dell'emissione. Ebbene, dato che gli elettroni non esistono nel nucleo atomico ma pure ne sono emessi, l'unica cosa è supporre che essi si creino all'istante dell'emissione; non c'è altra via di uscita. E proprio questo suppose il fisico italiano Fermi, il quale è l'autore di questa teoria della emissione di particelle beta da parte dei nuclei radioattivi.

Dunque in un nucleo vi sono protoni e neutroni, i protoni con la loro massa 1 e la loro carica positiva + 1, i neutroni con la loro massa 1 e senza carica elettrica. Qualche volta però può accadere una cosa strana, di cui non esiste esempio nella nostra vita di tutti i giorni: uno scambio di personalità. E precisamente può accadere che un neutrone si trasformi in protone, che cioè una particella neutra di massa 1 si trasformi in una particella di massa 1 e carica elettrica + 1.

Ebbene, nell'istante in cui avviene questo scambio, si crea un elettrone il quale, non potendo assolutamente neppure per un istante fermarsi nel nucleo a causa di quel famoso principio di indeterminazione, ne scappa via in gran fretta e con grande energia.

Ecco come può avvenire di assistere all'uscita dal nucleo di elettroni che prima non vi si trovavano.

Forze nucleari ed energia nucleare

In questo microscopico mondo, che si chiama nucleo atomico, c'è una cosa nuova: in esso esistono forze sconosciute a noi, abitanti del mondo macroscopico.

In un nucleo coabitano fraternamente protoni e neutroni; è proprio questa coabitazione fraterna che ci dice che nel nucleo non possono essere valide *soltanto* le solite leggi elettriche che vivono nel mondo macroscopico. Perchè se tra i protoni e i neutroni agissero soltanto le forze dovute alle loro cariche elettriche, i protoni, per essere tutti carichi positivamente, si respingerebbero, mentre i neutroni, per il fatto di essere elettricamente neutri, non eserciterebbero nè verso i protoni nè tra loro alcuna forza. Quindi, in definitiva, essendo repulsiva l'unica forza che agirebbe tra i costituenti del nucleo, questo tenderebbe a disgregarsi e i protoni e i neutroni si disperderebbero: quindi niente fraterna coabitazione.

Poichè invece la fraterna coabitazione esiste, deve esistere nel nucleo un'altra forza coesiva la quale sia più forte della forza elettrica repulsiva che esiste fra i protoni, in modo da avere il sopravvento su questa. Grazie a questa nuova forza, i protoni e i neutroni che costituiscono il nucleo potranno restare riuniti insieme, invece di disperdersi di qua e di là.

Quale è questa forza? Non posso dirvelo perchè non lo so. Intorno a questo problema i fisici si stanno accanendo, affrontandolo da varie parti e con diversi metodi; i fisici teorici con le loro formule e le loro teorie, i fisici sperimentali escogitando ed eseguendo nuove esperienze e nuove misure. Essi lavorano, sbagliano, si correggono, lavorano ancora, credono di essere giunti e ricominciano di nuovo...

Oggi questo problema non è stato ancora risolto del tutto; non regna più l'oscurità assoluta, già si vede qualche barlume, ma non è ancora stata fatta luce completa. Ancora non si sa quale sia il tipo di forza che, nel nucleo atomico, tiene uniti insieme i protoni e i neutroni.

Di qualunque tipo sia, è comunque certo che fra le particelle nucleari esiste una forza attrattiva: i protoni e i neutroni nucleari sono legati insieme da una energia, che si chiama appunto « energia di legame ».

Quando un nucleo di radio (per esempio) si disgrega sputando fuori una particella alfa, libera una piccola parte di questa energia che è però sempre ragguardevole: essa è circa due milioni di volte maggiore dell'energia che si libera durante la combu-

stione di una molecola di combustibile. Questa energia è l'energia di movimento posseduta dalla particella alfa che sfugge dal nucleo di radio.

Gli isotopi

E ora una piccola sosta in questo nostro viaggio di esplorazione. È proprio necessario che ora vi dica che cosa sono gli isotopi; non spaventatevi, vi prego, per questa brutta parola e ascoltatemi.

Come ho detto già varie volte, gli atomi dei diversi elementi chimici, che si trovano nelle successive caselle della tabella di Mendelejew, differiscono l'uno dall'altro per il numero degli elettroni planetari e quindi per la carica elettrica del loro nucleo atomico. Perciò se esistessero in natura due atomi i quali avessero *peso diverso* ma *lo stesso numero di elettroni planetari*, essi, pur essendo atomi diversi, dovrebbero occupare lo stesso posto nella tabella di Mendelejew.

Ebbene atomi cosiffatti esistono; e sono stati chiamati « isotopi », il che in greco vuol dire « eguale posto » (ἴσος = uguale; τόπος = luogo). Per esempio, esiste un elemento i cui atomi sono costituiti da un nucleo centrale intorno al quale ruota un solo elettrone; questo nucleo però ha una massa diversa dalla massa del nucleo dell'idrogeno: questo elemento quindi, pur occupando anche esso il primo posto nella tabella di Mendelejew, è un elemento diverso dall'idrogeno. Esso è un isotopo dell'idrogeno.

Ma poichè, come sappiamo, le proprietà chimiche di un elemento sono determinate esclusivamente dal numero degli elettroni planetari del suo atomo, gli isotopi di uno stesso elemento sono chimicamente indistinguibili l'uno dall'altro.

Quindi mentre, da un punto di vista chimico, esistono in natura soltanto novantadue elementi distinti, in realtà le specie di atomi esistenti in natura sono molto più numerosi (circa 240), dato che ognuno di questi novantadue elementi possiede uno o più isotopi.

Ho detto che tutti i nuclei atomici sono costituiti di neutroni e protoni. Ma dato che il peso di un protone e di un neutrone è eguale all'unità, come mai il peso dei nuclei atomici non è un numero intero? Come mai, per esempio, il peso di un atomo di cloro è (come potete leggere nella tabella di Mendelejew alla casella numero 17) 35, 45? Da dove vengono fuori quelle cifre decimali? Ve lo spiego subito; se, dal punto di vista chimico, il cloro che si trova in natura è tutto eguale, in realtà questo elemento è costituito da una miscela di due isotopi: il peso atomico dell'uno è 35, il peso atomico dell'altro è 37. Però mentre, nella miscela di questi due isotopi (miscela che costituisce il cloro), il primo è contenuto nella percentuale del 75,5 per cento, il secondo è contenuto per il 22,5 per cento; in definitiva quindi il peso atomico della miscela è 35,5. E una cosa analoga avviene per tutti i vari elementi chimici, alla cui formazione concorrano vari isotopi in diversa percentuale.

Mentre gli atomi dei novantadue elementi chimici hanno pesi che non sono rappresentati da numeri interi, i pesi dei 240 isotopi sono *tutti* numeri interi; il che è proprio ciò che doveva avvenire, dato che i nuclei atomici sono costituiti di protoni e neutroni.

Ed ora chiudiamo la parentesi e torniamo al nucleo atomico; ben presto anche questi nuovi personaggi, gli isotopi, entreranno in scena a rappresentare la loro parte in questo complesso e strano spettacolo.

La radioattività artificiale

Fino al 1933 gli elementi radioattivi conosciuti erano soltanto quelli che ci sono offerti dalla natura. Soltanto gli atomi di questi elementi avevano la proprietà, giunti a un certo istante della loro vita, di emettere qualche particella trasformandosi così in un nuovo elemento.

Ma nel dicembre del 1933 la fisica francese Irene Curie — figlia di Maria Curie — insieme col marito Federico Joliot fece una scoperta che destò grande ammirazione ed entusiasmo nel

campo dei fisici. Essi, bombardando alcuni nuclei con particelle alfa, riuscirono a creare nuovi elementi radioattivi: scoprirono così il fenomeno della *radioattività artificiale*.

Nelle esperienze fatte da Lord Rutherford e da tutti gli altri fisici che, fino agli ultimi mesi del 1932, avevano instancabilmente continuato a bombardare gli atomi, si era sempre osservato che un nucleo atomico, urtato da un proiettile, si modificava istantaneamente, assorbendo il proiettile, spezzandosi e dando luogo a un altro nucleo stabile: per esempio l'azoto, con questo meccanismo, si trasformava in ossigeno. Queste trasformazioni quindi erano caratterizzate dal fatto che si partiva da un nucleo stabile, esistente in natura, e si giungeva a un altro nucleo *stabile*, anche esso esistente in natura.

I coniugi Joliot invece si trovarono dinanzi a un fatto nuovo. Il nucleo bombardato assorbe la particella proiettile; e fin qui nulla di nuovo; ma invece di trasformarsi direttamente nel nucleo di un elemento stabile, si trasforma in un nucleo *instabile* non esistente in natura, il quale, prima o poi, deve subire una nuova modificazione; esso, proprio come fa un nucleo di un qualsiasi elemento radioattivo, emette una particella e si trasforma (dopo tanto penare) in un nucleo stabile.

Vi state forse chiedendo quale è quel nucleo instabile di interregno. È semplicemente uno dei personaggi che vi ho presentato poco fa e che ora, come vi avevo promesso, entrano in scena: è un isotopo di un elemento chimico, isotopo che, appunto per il fatto di essere instabile, non esiste in natura. I coniugi Joliot, con il loro bombardamento, gli davano vita; vita molto breve, perchè ben presto esso si disintegra.

E, per chiarirvi le idee, eccovi un esempio. Bombardiamo un po' di magnesio con particelle alfa; un nucleo di magnesio allora assorbe la particella proiettile, emette un neutrone e si trasforma in un isotopo del silicio, di massa 27; questo isotopo non è stabile; infatti dopo qualche tempo esso si disintegra dando luogo a un nucleo di alluminio stabile.

E su questo nuovo fenomeno della radioattività artificiale i fisici si lanciarono con tutta la loro energia e ripresero i bombardamenti; e trovarono che diversi altri elementi, oltre il magnesio, si trasformano in nuovi elementi radioattivi. Chi bombardava

di qua e chi bombardava di là...; poco per volta furono passati in rivista tutti i novantadue elementi e ognuno di essi fu bombardato con tutti i proiettili possibili: particelle alfa, protoni, neutroni e persino raggi gamma: fu proprio un bombardamento generale. E, a seconda dei casi, ognuno di questi elementi o si trasforma in un altro elemento stabile (secondo quanto aveva trovato Lord Rutherford) o si trasforma in un elemento radioattivo non esistente in natura, che poi, in un secondo momento, si disintegra dando luogo a un elemento stabile (secondo quanto avevano trovato i due coniugi Joliot).

E studiarono tutti gli elementi, fino all'ultimo, l'uranio: ma questo ultimo serbava loro una sorpresa. Sotto l'azione di un bombardamento di neutroni, un nucleo di uranio, invece di trasformarsi emettendo una piccola particella, si comporta in un modo del tutto originale; si scinde in due parti quasi eguali trasformandosi, esso che è il nucleo più pesante, in due nuclei di peso intermedio, per esempio in un nucleo di bario e in un nucleo di cripton.

E dinanzi a questo nuovo fenomeno di scissione i fisici si fermarono nuovamente interdetti. La vita dei fisici è densa di sorprese e di imprevisti.

Proprio come fa una goccia

Questo fenomeno della *scissione* si può interpretare molto bene facendo uso di un modello del nucleo che era stato suggerito dal fisico danese Bohr, quello stesso che per primo aveva dettato le leggi a cui ubbidiscono gli elettroni planetari dell'atomo.

Bohr suppone che nell'interno del nucleo i protoni e i neutroni si muovano continuamente in modo estremamente complicato, ma rimanendo, per così dire, in continuo contatto gli uni con gli altri, proprio come fanno le molecole entro una goccia di una sostanza liquida: in questo senso un nucleo atomico è qualche cosa di simile a una goccia.

Ora una goccia, per esempio una goccia di mercurio, a

causa della tensione superficiale, tende a conservare la sua forma sferica; ma se la colpiamo con sufficiente violenza, possiamo provocarne la rottura in due goccioline più piccole. È proprio ciò che accade nel nucleo di un atomo di uranio; esso, che è costi-

...IN DUE GOCCIOLINE PIU' PICCOLE...

tuito da 92 protoni e 146 neutroni, ci si presenta, secondo questo modello di Bohr, come una goccia di un liquido entro la quale le 238 particelle si muovono mantenendosi a contatto le une con le altre. All'urto di una particella proveniente dall'esterno, questo nucleo, proprio come farebbe una goccia, si spezza in due goccioline quasi eguali.

Ma perchè proprio soltanto il nucleo di uranio si comporta in un modo così originale? Perchè se ogni nucleo può paragonarsi a una goccia, soltanto il nucleo dell'elemento più pesante esistente in natura, sotto l'azione del bombardamento si spezza in due goccioline quasi eguali, mentre gli altri si accontentano di sputar fuori una particella trasformandosi in un nucleo di poco più leggero o stabile o radioattivo?

La ragione di questa diversità di comportamento è molto semplice. I protoni che si trovano in un nucleo, essendo tutti carichi positivamente, si respingono; ma questa repulsione elettrostatica è compensata e superata da quelle forze attrattive nucleari di cui parlavo qualche tempo fa e che ancora non sappiamo di che tipo siano; man mano però che aumenta il numero di protoni che si trova nel nucleo, man mano cioè che si procede verso elementi più pesanti, la repulsione elettrostatica va aumentando, quindi il nucleo diventa un aggregato meno stabile, che può disintegrarsi con maggiore facilità. E — come dimostra un esatto calcolo matematico — proprio quando si giunge al nucleo di uranio, questa forza repulsiva che agisce tra i protoni è diventata tanto grande che viene appena compensata dalla forza attrattiva nucleare: in modo che basta la non molto grande energia che il neutrone proveniente dall'esterno cede alle

TAVOLA XVII

Esplosione d'una bomba atomica a Bikini (1946).

particelle nucleari, perchè il nucleo — proprio come faceva la goccia di liquido colpita con violenza — si spezzi in due nuclei quasi eguali tra loro.

L'uranio, sotto il bombardamento, può comportarsi in modo così originale — può cioè presentare il fenomeno della scissione — esclusivamente per merito dell'elevato numero dei suoi protoni nucleari.

Possibilità di sfruttamento dell'energia nucleare

Naturalmente anche quando un nucleo di uranio si spezza in questo modo strano, libera una certa quantità di energia; essa è circa cento milioni di volte maggiore dell'energia che si libera durante la combustione di una molecola di un comune carburante.

Ma — ed ora certamente drizzerete le orecchie — ora, per la prima volta, esiste la possibilità di uno sfruttamento pratico di questa energia.

Per quanto l'energia liberata dalla combustione di una molecola di combustibile sia piccola, noi riusciamo egualmente a utilizzarla perchè conosciamo il sistema per far bruciare contemporaneamente un numero enorme di molecole; infatti basta provocare la combustione di una sola molecola di un gas combustibile perchè il calore che si libera durante questa combustione sia sufficiente a provocare a sua volta la combustione delle molecole vicine; e così, quasi istantaneamente, tutta la massa si infiamma.

Nel caso invece delle disintegrazioni nucleari, un nucleo, colpito da una particella proiettile, si trasforma in un altro nucleo liberando una notevole energia; ma questa trasformazione di un singolo nucleo resta isolata poichè essa non ha nessuna influenza sui nuclei vicini; soltanto nel caso in cui si riuscisse, per così dire, a innescare una catena di trasformazioni nucleari, si otterrebbe una quantità di energia utilizzabile per scopi pratici; e questa energia sarebbe enormemente mag-

giore di quelle che utilizziamo oggi nella nostra vita quotidiana.

Ora — e qui viene il bello — questa possibilità esiste nel caso della scissione di un nucleo di uranio. Vediamo perchè.

I proiettili che si devono usare per provocare la scissione dell'uranio sono, come già ho detto, i neutroni, cioè quelle particelle che hanno la stessa massa dei protoni ma nessuna carica elettrica; quando uno di questi neutroni, lanciati dentro la massa di uranio, incontra un nucleo, ne provoca la scissione: cioè il nucleo si spezza in due parti quasi eguali liberando una certa quantità di energia; non solo, ma (il che costituisce una novità) *emettendo due neutroni* i quali cominciano a muoversi nella massa di uranio. Ed ora avrete capito tutto: questi neutroni muovendosi vanno, prima o poi, ad urtare un nuovo nucleo, il quale si scinde con un nuovo sviluppo di energia ed emissione di nuovi neutroni; questi a loro volta... Si ha così una reazione a catena (che viene innescata da quell'unico neutrone proiettile) che si mantiene da sè fornendo quantità colossali di energia.

Per la prima volta così l'uomo si è trovato di fronte alla possibilità concreta di utilizzare per scopi pratici l'enorme quantità di energia racchiusa nel nucleo atomico.

Dispositivi industriali e — purtroppo — bomba atomica

In questi ultimissimi anni (dal 1942 in poi), sotto la potente spinta delle necessità belliche, si sono sviluppati due diversi dispositivi per lo sfruttamento della energia nucleare, che hanno richiesto la soluzione di numerosissimi, delicati problemi tecnici e l'impiego di mezzi colossali.

Da una parte si è creato un dispositivo il quale permette l'utilizzazione della energia nucleare a scopi industriali (pila atomica); dall'altra sono state costruite le cosiddette « bombe atomiche », nelle quali la reazione a catena (che si provoca lanciando un neutrone in una massa di uranio) si sviluppa

quasi istantaneamente, liberando in brevissimo tempo una energia colossale; la reazione assume il carattere di un'esplosione di inimmaginabile potenza.

Chiusa (possiamo sperare per sempre?) la dolorosa parentesi della guerra, resta a disposizione dell'uomo una nuova, potentissima sorgente di energia che modificherà in modo profondo la sua vita futura.

Dal giorno in cui, nel 1919, Lord Rutherford riuscì per la prima volta a trasformare un elemento in un altro, è stato fatto un cammino immenso; ciò che i fisici hanno compiuto in questi soli trentadue anni rende ben giustificata la speranza che la fisica nucleare possa subire in avvenire un ampio e profondo sviluppo.

Conclusione

E con questo augurio e con questa speranza chiudiamo questo libro che ha per titolo *La materia*.

Abbiamo ammirato insieme questo nostro mondo così ricco e così bello nella sua immensa varietà. Ma il nostro occhio, fatto attento, ha visto che questa varietà non è, in ultima analisi, che il prodotto di due sole entità: materia e radiazioni; abbiamo guardato ancora più profondamente questa materia, ancora più addentro...; ed ecco ora dinanzi a noi i suoi costituenti ultimi: protoni, neutroni, elettroni...

E ora, un po' stanchi, ci scuotiamo e ci guardiamo intorno, mentre lentamente, e forse a malincuore, ripieghiamo quel cavalletto che avevamo piantato, spinti dal sacro fuoco della curiosità. Ci guardiamo intorno; ed ecco l'acqua viva di quel ruscello e il verde prato e le profumate ginestre: il nostro sguardo abbraccia tutto ciò e lentamente tutto penetra in noi.

LIBRO IV
la Vita

Introduzione

Su un vasto palcoscenico si svolge ogni giorno uno spettacolo meravigliosamente vario; uno spettacolo che spesso è dramma ma qualche volta è farsa. Ma dramma o farsa, tragedia o commedia, esso ha sempre lo stesso titolo e ha sempre la stessa fine.

È uno spettacolo del quale tutti noi siamo attori; e con noi, tutto ciò che sulla Terra vive: perchè il titolo del dramma o della farsa, della tragedia o della commedia è *La vita*.

A questo spettacolo assiste un pubblico molto vario ma stranamente immobile e inerte, che si chiama « materia inorganica »: ogni attore, il più piccolo essere vivente e il più complicato, la pianta e il mollusco, il verme e l'uomo, nascono, lottano, soffrono, godono e muoiono dinanzi a questo pubblico indifferente ed estraneo.

Come si svolge questo spettacolo che si chiama vita? Che parte recitano i vari attori? Per quali strade diverse giungono a quella fine comune alla quale nessuno di essi, mai, sfugge?

Vorrei oggi rispondere a queste domande. Raccoglietevi dunque ancora una volta, un'ultima volta, qui intorno a me, mentre io, così alla buona, comincio, al solito, le mie quattro chiacchiere.

RIPRODUZIONE ED EREDITÀ

Gli esseri viventi

Dunque guardiamo tutti coloro che, su questo vasto palcoscenico che si chiama Terra, sono, insieme a noi, gli attori dello spettacolo che ha per titolo « Vita ».

Tutti questi attori costituiscono un insieme enormemente eterogeneo e vario. Che cosa può esservi di più diverso di un fungo e di una balena? O di un microbo e di un elefante? Eppure noi istintivamente sentiamo che tra il fungo e la balena,

...COSA PUO' ESSERVI DI PIU' DIVERSO...

tra il microbo e l'elefante esiste una certa parentela e sentiamo che un fungo è più lontano da un sasso di quanto non sia lontano da una balena. Che cosa fa sorgere in noi questo sentimento? Che cosa può esservi di comune tra esseri così diversi che noi accomuniamo tutti sotto il nome di « esseri viventi »?

Rispondere a questa domanda vuol dire dare una definizione della vita: problema ben arduo che non ha ancora — devo confessarvelo — una soluzione definitiva. Già nella seconda parte di questo libro (*La Terra*) abbiamo sfiorato questo problema su cui voglio ora soffermarmi un po' più a lungo. Riprendiamo quindi quelle parentele profonde che sono l'espressione dei caratteri comuni a tutti gli esseri viventi.

Una balena naviga per i mari, una farfalla vola, un elefante cammina e corre più o meno pesantemente, una pianta...; sì, anche una pianta si muove: lentamente le sue radici penetrano nel terreno e i suoi rami si allungano nell'aria. Ogni essere vivente si muove; esso può percorrere grandi o piccoli spazi, può restare tutta la vita in uno stesso luogo, ma esso pur sempre si muove.

Un foglio può muoversi spinto dal vento, un sasso può muoversi trascinato da un fiume; ma il movimento di questo foglio e di questo sasso è provocato da qualche cosa di esterno: un essere vivente si muove invece in risposta a un impulso interno.

Ecco dunque il primo carattere comune a tutti i nostri attori: *il movimento*.

Il più indaffarato degli uomini, il più sognatore dei poeti, la più innamorata delle fanciulle, di tanto in tanto, a intervalli più o meno regolari, pianta lì affari, sogni o amore e va a mangiare: vi sembrerà forse prosaico, ma pure è la realtà. E la balena mangia, il microbo mangia, il fungo mangia... Ogni essere vivente introduce nel proprio organismo, in un modo o in un altro, alcune sostanze prese dall'esterno; e l'organismo le trasforma chimicamente e le assimila; le sostanze prese dall'esterno servono a tutti per edificare il proprio corpo; e le trasformazioni producono, in ultima analisi, quell'energia che l'uomo indaffarato consumerà per i suoi affari, il poeta per i suoi sogni, la fanciulla per i suoi sospiri innamorati.

Ecco dunque che abbiamo trovato un secondo carattere comune a tutti gli esseri viventi; ognuno di essi si muove, ognuno di essi *si nutre*.

Vedete bene che la parentela tra il fungo, la farfalla e la balena va stringendosi sempre più. Ma c'è ancora qualcosa. Ogni essere vivente viene prodotto sempre da un altro simile essere vivente preesistente. È questa una affermazione della cui validità oggi nessuno dubita; una libellula nasce da una libellula, una quercia nasce da una quercia, un microbo nasce da un microbo. Ho detto « oggi » perchè fino alla metà del secolo scorso ancora ferveva vivissima la discussione tra i biologi: chi sosteneva che *omne vivum ex vivo,* chi invece si ostinava ad asserire che le mosche si originano spontaneamente dalle carni corrotte, le rane dalla melma degli stagni e le api dal... sangue dei tori! Spallanzani e Pasteur dimostrarono definitivamente che non c'è corruzione e non c'è melma che tenga; se nella carne e nella melma non vi sono uova di mosca e, rispettivamente, di rana in stato abbastanza buono per potersi sviluppare, non nasceranno mai nè mosche nè rane.

Ogni essere vivente si muove, si nutre, si accresce; e, giunto a un certo punto della sua vita, *si riproduce;* in un modo o in un altro (e vi racconterò come) dà luogo a uno o a più esseri i quali ripasseranno per tutte le forme per le quali è passato chi l'ha generato; costui morrà ma lascerà sulla Terra chi lo sostituisce; ogni giorno si apre un numero enorme di tombe, ma, malgrado ciò, la Terra continua a ospitare una folla immensa di piante e di animali.

Questa capacità di riproduzione è esclusiva di quegli esseri che chiamiamo viventi.

Movimento, nutrizione, accrescimento, riproduzione... : sono questi i fondamentali caratteri di parentela che abbiamo trovato osservando un po' attentamente una balena, una farfalla e un fungo.

Le cellule

Dunque tutti parenti. Ma che cosa sta alla base di questa parentela? Evidentemente questi esseri, apparentemente così diversi, devono avere qualche cosa comune che li costringe a comportarsi in modo analogo.

Cosa dite? Che per quanto li rigiriate e li rivoltiate da tutte le parti, non riuscite assolutamente a trovare questa cosa comune che certamente deve esistere — che so io? — tra una violetta e un coccodrillo? Ma si capisce; non vi riuscirete mai fin quando continuerete a guardare quegli esseri viventi semplicemente con gli occhi di cui vi ha fornito il buon Dio. Ma se munirete i vostri occhi di quello strumento che ingrandisce enormemente gli oggetti permettendo di distinguerne tutti i particolari, se cioè guarderete attraverso un microscopio, vi accorgerete che gli esseri viventi, tutti gli esseri viventi, il microbo e la violetta, il coccodrillo e voi stessi, presentano una fondamentale similitudine di organizzazione. Per quanto possa sembrarvi inverosimile, la pudica violetta e il mastodontico coccodrillo sono costruiti in modo analogo: come?

Un giorno del 1667 il signor Hooke guardava al microscopio una fettina di sughero morto; e al suo occhio attento apparve un numero enorme di piccolissime caselline strette l'una accanto all'altra: le chiamò « cellule ». Naturalmente non si accontentò della fettina di sughero secco e cominciò a guardare fettine di altre sostanze vegetali: e sempre vedeva questo enorme numero di caselline.

Altri studiosi si misero a guardare al microscopio fettine varie di organismi vegetali e animali: ed ecco sempre le caselline.

È questa la similitudine di organizzazione presentata dagli esseri viventi: qualunque essi siano, qualunque sia la loro dimensione e la loro forma, essi sono formati di *cellule*; queste cellule possono essere moltissime ed ecco un essere grandissimo; possono essere poche ed ecco un piccolo essere vivente; può essere anche una sola ed ecco uno di quegli organismi piccolissimi che, a nostra insaputa, pullulano intorno a noi. Ma per il fatto di

essere costituiti di cellule, sia pure di una sola cellula, anche essi presentano quelle caratteristiche della vita che abbiamo trovato osservando la balena e l'elefante: movimento, accrescimento, riproduzione...

La cellula è essa stessa un organismo; gli esseri pluricellulari non sono che colonie di cellule: tutti i processi che caratterizzano la vita si svolgono in questo mondo microscopico, la cellula, la cui grandezza è, di solito, di circa un centesimo di millimetro.

Non vorrei però ora che vi faceste un'idea un po' troppo semplicistica di che cosa sia, in realtà, un organismo complesso; non vorrei che pensaste che esso sia un aggregato più o meno grande di cellule tutte *identiche* tra loro, così come un muro è un aggregato di mattoni tutti eguali tra loro; poichè in un uno stesso organismo le cellule non sono tutte identiche; esse differiscono le une dalle altre; le cellule adatte a una stessa funzione sono della stessa natura e sono raggruppate in tessuti.

Andiamo ora a tagliare in un tessuto, per esempio, animale, una fettina e osserviamola al microscopio. A seconda che si tratta di sostanza nervosa o di ossa, di muscolo o di pelle, vedremo cellule di forma diversa: ve ne sono di prismatiche, di cubiche, di piatte, di rotonde e di stellate; ve ne sono di quelle che si allungano in fusi e di quelle che si allungano in filamenti sottili... Insomma grande varietà di forma. Ma malgrado questa varietà, la costituzione fondamentale di tutte queste cellule è analoga: ecco di che cosa si tratta.

Quegli scienziati che, dopo Hooke, si dedicarono allo studio di fettine varie, guardando un po' più attentamente il contenuto di quelle caselline, videro che nel sughero vivo, e anche negli altri tessuti di una pianta, le caselline sono piene di una sostanza gelatinosa, vischiosa e trasparente alla quale fu dato il nome generico di *protoplasma*. Vogliamo ora accostare anche noi l'occhio al microscopio e guardare insieme le cellule di una fettina, per esempio, di quel tessuto che tappezza la cavità dell'addome? Volete? E allora chiniamoci e guardiamo...

Ecco: vediamo tante piccole — come dire? — tante piccole placche di sostanza vivente: tante cellule. Eccole poste le une accanto alle altre, separate da un'esile, ondulata linea di con-

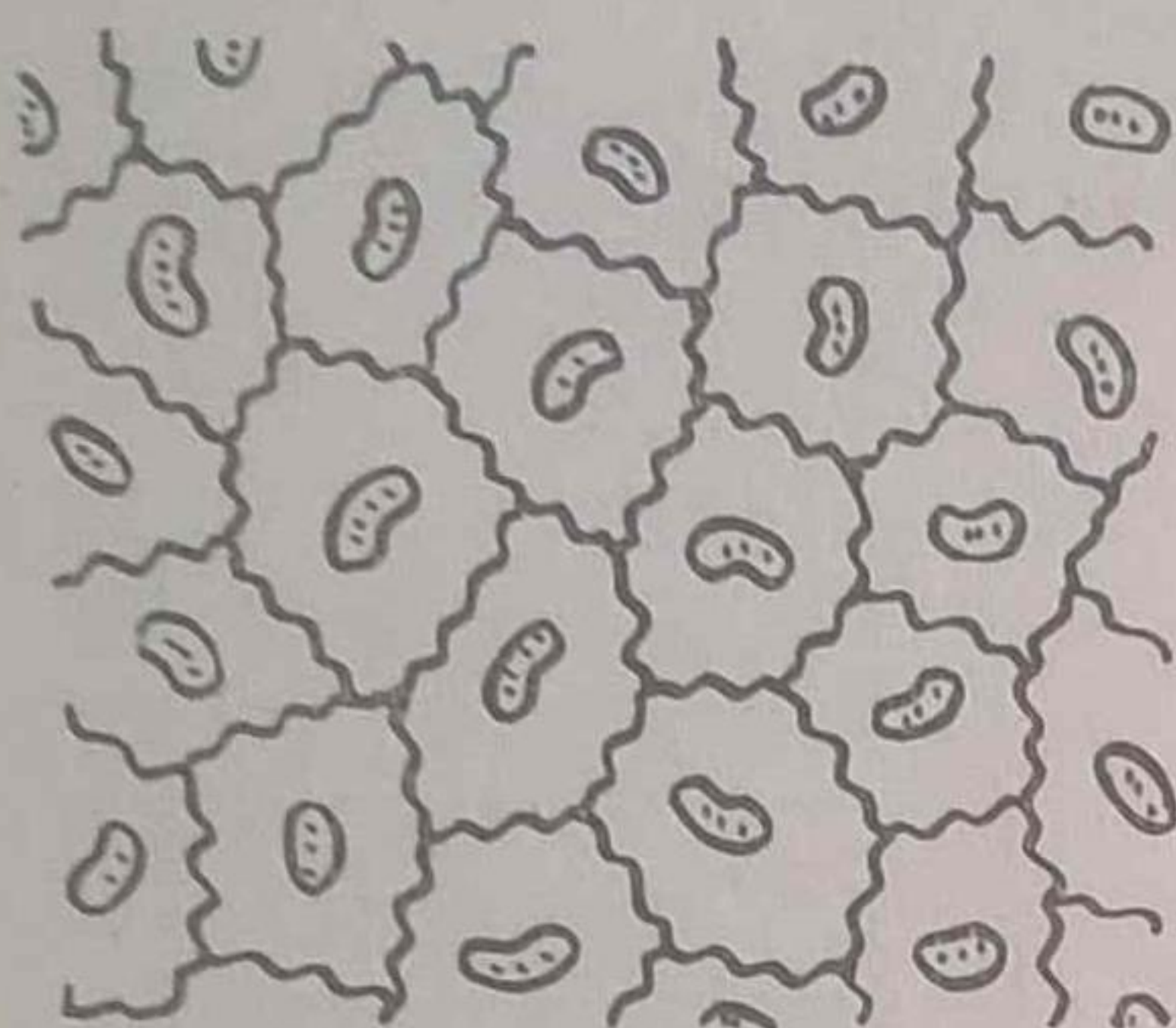
fine che si muove continuamente. Fissiamo ora la nostra attenzione su una sola di queste placchette di protoplasma, guardiamo cioè una singola cellula: e vediamo una sostanza semifluida, chiara e trasparente, che è stata battezzata *citoplasma;* e immerso in questo citoplasma ecco un corpicciolo rotondo, fatto di sostanza più densa: il *nucleo*. Lentamente questo nucleo viene trascinato avanti e indietro nella cellula.

...TANTE PICCOLE PLACCHE...

Esternamente al nucleo ma abbastanza vicino ad esso, vi è spesso un piccolo corpicciolo che non è sempre ben visibile, ma del quale vedremo presto l'importanza: il cosiddetto *centrosoma*.

Ecco dunque che cosa è, essenzialmente, una cellula: una piccola massa di citoplasma, nell'interno della quale si trova il nucleo.

Mi fate cenno che vedete ancora qualche cosa? Sì, lo so: vedete qua e là nel citoplasma qualche piccolissimo spazio vuoto e poi qualche inclusione, qualche gocciolina o qualche piccolissimo cristallino; e poi, nel nucleo, qualche piccolissimo corpo opaco che muta continuamente di grandezza, di forma e di posizione e che, come qualcuno ricorda, si chiama *nucleolo*...; sì, lo so, ma non importa; sorvoliamo e manteniamoci all'essenziale. Una cellula è essenzialmente costituita di citoplasma, nucleo e centrosoma.

Un'ultima parola per chiarire un malinteso che, forse, le mie parole hanno fatto sorgere. Ho parlato di caselline; e voi, forse, siete rimasti con l'impressione che un tessuto sia, nel suo insieme, qualche cosa di simile a un... alveare, le cui cellette siano, a seconda dei casi, o cubiche, o piatte, o prismatiche... E questo è falso. Quei famosi studiosi di fettine si accorsero, continuando le osservazioni, che non sempre il protoplasma è contenuto in una casellina: esso può essere anche... nudo, senza involucro: però si chiama sempre « cellula ». Questo nome di cellula quindi

non si riferisce al contenente (cioè alla casellina) ma al contenuto (cioè al protoplasma). Nei tessuti animali, per esempio, la cellula è nuda: essa non è limitata da nessuna parete visibile.

Nuda o incasellata, ogni cellula è una individualità vivente; essa quindi, in generale, presenta tutte le caratteristiche proprie dei corpi viventi: assimila sostanze estranee, trasformandole in sostanza propria, reagisce agli stimoli esterni, si riproduce, dando origine ad altre cellule simili a sè; compie un proprio ciclo vitale e, dopo una vita più o meno lunga, finisce per morire.

Organismi complessi - Limitazione di libertà

Dunque ogni essere vivente o è una sola cellula o è un aggregato di cellule. Nel primo caso abbiamo uno di quegli esseri microscopici (piante o animali) che a miriadi pullulano nelle acque: i cosidetti esseri unicellulari.

Gli organismi più complessi invece sono costituiti da un numero più o meno grande di cellule. Naturalmente una cellula che faccia parte di uno di questi organismi non gode di tutta la libertà di cui, forse, le piacerebbe disporre. Prima di tutto essa è adibita a una ben determinata funzione che è sempre la stessa fino alla fine dei suoi giorni; tanto più che la sua forma è adatta soltanto a quella determinata funzione. Una cellula muscolare, per esempio, resterà lì, con la sua forma fusiforme, accanto alle sue innumerevoli compagne soggette allo stesso destino, a contrarsi e a distendersi per tutta la vita e non potrà andarsene a fare un giretto con le cellule del sangue nè affacciarsi un momentino all'esterno con le cellule dell'epidermide. Essa è sempre sotto controllo e la sua vita si svolge in un piano ben organizzato; pur tuttavia una cellula è sempre una ben definita individualità vivente tanto che, in condizioni adatte, può essere staccata dall'organismo complesso di cui fa parte e mantenuta in vita indipendentemente da esso.

È però una individualità piccola piccola; volete sapere quanto? Basta che pensiate che il vostro corpo è formato, più o meno,

da mille milioni di milioni di cellule (10^{15} cellule) tra cubiche, piatte, fusiformi, filiformi... Mille milioni di milioni di cellule, ognuna delle quali ha la sua funzione ben determinata, il suo lavoro ben predisposto.

Una cellula, nella sua qualità di individualità vivente, ubbidisce, come tutti i viventi, a quella legge fondamentale che, — ricordate? — fu il risultato dello studio attento di Pasteur: *omne vivum ex vivo*. Una cellula cioè proviene sempre da un'altra cellula preesistente.

Come avviene questa strana nascita? Come si comporta la cellula madre e che aspetto ha la cellula figlia? È quello che vedremo nel prossimo paragrafo, che ha per titolo:

Riproduzione cellulare

Ecco dunque una anonima cellula, col suo citoplasma, il suo nucleo, e tutte quelle altre cosine che voi avete intravisto ma che io non ho voluto prendere in considerazione; il contorno esterno si muove oscillando variamente, il nucleo si sposta con lentezza di qua e di là..., la cellula vive.

Vive e si nutre; si nutre e cresce; e, raggiunta una certa dimensione, si spezza in due cellule identiche, proprio come fa una goccia di un liquido quando diventa troppo grossa. La cellula madre non c'è più: ecco, al suo posto, le sue figlie, più piccole sì, ma per il resto identiche alla madre e così eguali tra loro da essere indistinguibili.

Il tempo passa: i contorni esterni delle due cellule figlie ondulano variamente, i nuclei si spostano con lentezza...; queste due cellule vivono, si nutrono, crescono...; e quando hanno raggiunto una certa dimensione, ognuna di esse si spezza in due parti esattamente eguali. E ognuna di queste cellule-nipoti...; mi sembra la storia del piccolo naviglio, sapete bene, quella storia che non ha mai termine perchè tutte le volte che si giunge alla fine si ricomincia da capo.

E così dove all'inizio c'era una sola cellula, ecco ora (col

passare del tempo) un numero enorme di cellule identiche: quante, quante culle! ma dove sono le tombe? Non esistono tombe: questa strana società non costruisce cimiteri. La cellula madre esiste ancora, per quanto invisibile: esiste ancora, suddivisa nelle due figlie e poi nelle quattro nipoti e poi nelle pronipoti... Essa non è morta; in un certo senso, essa è immortale.

Col passare del tempo...; non crediate che debba passare troppo tempo per il sorgere di tutte queste culle. Naturalmente, trattandosi di una cellula anonima, non posso darvi dati precisi ma dovete accontentarvi dell'ordine di grandezza. Ecco la nostra cellula solitaria che vive tranquillamente lontana da ogni nemico e con tutto il cibo che desidera a sua disposizione. Riguardiamo tra una ventina di minuti: essa non c'è più e al suo posto ecco le due figlie che iniziano la loro vita tranquilla di venti minuti; e poi ecco le nipotine... I lieti eventi si susseguono di venti minuti in venti minuti: alla fine delle ventiquattro ore ci troviamo terrificati a guardare un numero enorme di cellule, un numero così grande che non posso leggervi e che è 2^{72}. Ognuna di esse comincia tranquillamente la sua vita e in capo a venti minuti ecco che... No, basta, altrimenti diventa un vero incubo.

Ma se voi pensate che io ho parlato di una anonima cellula, ma che avrei potuto parlare di uno di quei terribili esseri unicellulari apportatori di malattie mortali, credo che sareste rimasti ben più terrorizzati assistendo a questa implacabile, spaventevole prolificazione. Ma, fortunatamente, la vita degli esseri viventi, e in particolare la vita degli esseri unicellulari, non è affatto tranquilla; e un grandissimo numero di essi non riesce a giungere incolume alla fine di quei venti minuti che ci sono sembrati tanto brevi ma che possono racchiudere tante fatali tragedie; mancanza di cibo, nemici mortali... Pur tuttavia il potere di espansione di questi organismi è notevolissimo; in ciò consiste la terribile potenza di questi esseri microscopici.

Ma bando al terrore e torniamo alla nostra cellula anonima, che, a un certo punto, si divide in due sacrificando tutta la materia di cui è costituita per la costruzione delle due figliolette. Vogliamo ora guardare un po' più in dettaglio come avviene questo minuzioso e meraviglioso processo?

Prima di tutto un'osservazione di grande importanza:

la presenza del nucleo è fondamentale alla vita del protoplasma; se in una cellula che più particolarmente si presti all'operazione (come alcune cellule vegetali) si elimina artificialmente il nucleo — tagliandola per esempio in due in modo che soltanto una parte contenga il nucleo — si vede che nella parte in cui c'è il nucleo i processi vitali continuano a svolgersi regolarmente, mentre nella parte in cui esso manca, l'attività si rallenta e si esaurisce finchè la massa di protoplasma finisce col morire.

Ciò premesso, eccoci alla riproduzione cellulare. Dunque la cellula, raggiunta una data dimensione e una data fase della sua vita individuale, si divide in due: ci siamo chiesti: come avviene questa divisione?

Dato che, per la vita di una cellula, è necessaria la presenza del nucleo, condizione essenziale perchè una cellula madre produca due cellule figlie entrambe vitali, è che il nucleo si distribuisca equamente tra le due figlie; cioè la effettiva divisione della cellula deve essere preceduta dalla divisione del nucleo. Questa divisione nucleare può avvenire in due modi, uno più semplice e l'altro più complicato. Cominciamo, naturalmente, dal più semplice.

Divisione diretta

Un nucleo che si divida secondo questo procedimento, che prende il nome di *divisione diretta,* si comporta proprio come un pezzo di morbida pasta che un fornaio voglia dividere in due parti; cosa fa questo fornaio? Afferra il pezzo alle due estremità e tira: la pasta si allunga acquistando l'aspetto di un budello, poi si strozza nel mezzo e finisce per dividersi in due pezzi presso a poco eguali. Lo stesso avviene per il nucleo (e in un secondo tempo per la cellula) nella divisione diretta: nessun essere visibile afferra il nucleo e tira, ma per una qualche ragione interna, a un certo punto, il nucleo della cellula madre, che di solito ha una forma presso a poco sferica o ellissoidale, comincia ad al-

lungarsi in una direzione diventando simile a un budello, si strozza nel mezzo e finisce per dividersi in due pezzi: sono questi i nuclei delle due figlie. Seguono immediatamente, in parte sovrapponendosi all'allungamento, lo strozzamento e la divisione dell'intera cellula. Il sacrificio è compiuto, le figlie sono nate.

Divisione indiretta o mitosi

Questa divisione diretta cellulare, però, è molto poco diffusa. Si riproducono con questo sistema alcuni vegetali inferiori, i corpuscoli bianchi del sangue dei vertebrati e (guarda un po'!) le cellule dei tendini dei topi neonati.

Ma il metodo più comune di divisione cellulare, che è anche molto meno banale, è la divisione indiretta o *mitosi;* quando vi avrò detto di che cosa si tratta, questo nome, che certamente vi sembra ora molto astruso, vi apparirà il più naturale del mondo.

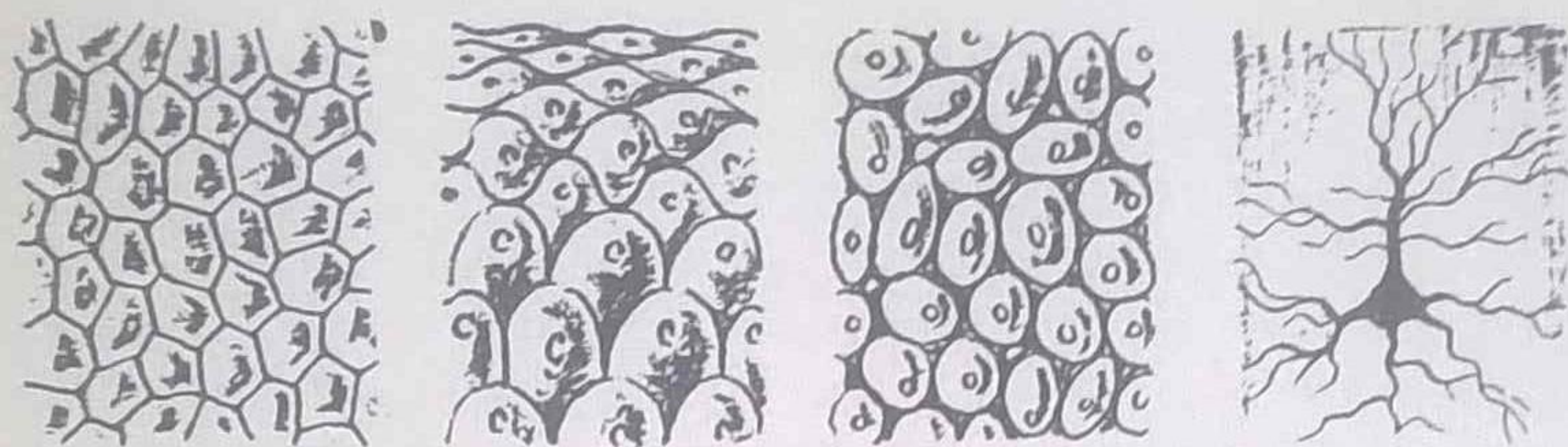
Ecco i dettagli di questo processo. Di tanto in tanto una cellula, che viveva la sua tranquilla vita, si ferma e modifica la sua forma fino a diventare come una goccia rotondeggiante; possiamo dire allora che essa ha intenzione di dividersi. Nel frattempo nel suo interno avvengono cose molto strane ma molto importanti.

Nell'interno del nucleo, che finora aveva l'aspetto di un chiaro globo, spariscono quei corpiccioli che si muovevano lentamente e dei quali qualcuno di voi ha ricordato il nome di « nucleoli »; e nello stesso tempo ecco un gran numero di filamenti, qualcuno più lungo e qualcuno più corto, i quali cominciano una strana manovra: cominciano a torcersi e ad avvolgersi con attività sempre maggiore; finchè l'attorcigliamento va calmandosi mentre quei filamenti si accorciano diventando più tozzi. Sono questi quei *cromosomi* che, come presto vi racconterò, giocano nella nostra esistenza una parte di vitale importanza. Intanto, mentre nell'interno del nucleo avvengono questi cambiamenti, i suoi confini sono andati sparendo, in modo che il suo contenuto si mescola con il citoplasma.

Ma non è ancora finito: ricordate quel piccolo corpicciolo che, in una cellula, si trova esternamente al nucleo e che ho chiamato centrosoma? Ebbene, anche questo corpicciolo si dedica a strane manovre. Ecco che intorno ad esso si manifesta una figura stellata, alla quale (e non c'è da meravigliarsi) è stato dato il nome di *astro*, formata dal disporsi delle particelle di protoplasma cellulare secondo un sistema di raggi centrati. Il centrosoma si allunga, prende la forma di un manubrio e si divide in due, strozzandosi nel mezzo; mentre avvengono questo strozzamento e questa divisione, anche il sistema di raggi si allunga in ellissoide fino a dividersi in due figure stellate, unite da un fascetto di fibrille, il cosiddetto *fuso*. Vi sembra molto complicato tutto ciò? Ma vi assicuro che, al solito, sono le chiacchiere che complicano tutto: tenete d'occhio la figura inferiore della pag. 409 e tutto vi sembrerà lampante.

Ecco dunque la cellula con due centrosomi i quali, poco a poco si allontanano l'uno dall'altro mentre fra di essi il fuso si allunga come se fosse tirato; e questi due centrosomi finiscono per porsi da una parte e dall'altra del nucleo, occupando due posizioni diametralmente opposte. I cromosomi intanto (ricordate quei tozzi filamenti?) vengono a prendere posto all'equatore del fuso. Forse immaginate che queste complicate manovre abbiano richiesto, per svolgersi, un tempo ben lungo; ebbene, dal primo apparire dei filamenti del nucleo, sono trascorsi, nei casi più veloci, circa otto minuti.

E le manovre procedono. Infatti ogni cromosoma si è frattanto raddoppiato dividendosi in due secondo la sua lunghezza; ed ecco che le due metà si allontanano l'una dall'altra dirigendosi verso le due estremità del fuso.

Quando le metà dei cromosomi sono a mezza via tra l'equatore e i poli, comincia lo strozzamento della cellula che nel frattempo si era allungata nello stesso senso del fuso; e in ciascuna delle due cellule figlie, che così vanno separandosi, i mezzi cromosomi si accostano al centrosoma corrispondente. La strozzatura va approfondendosi finchè, strappato l'ultimo legame che le tiene unite, le due cellule figlie acquistano finalmente la propria libertà, mentre nel loro interno avviene un ultimo cambiamento: intorno al ciuffo di cromosomi si forma una zona chia-

CELLULE DI FORMA DIVERSA

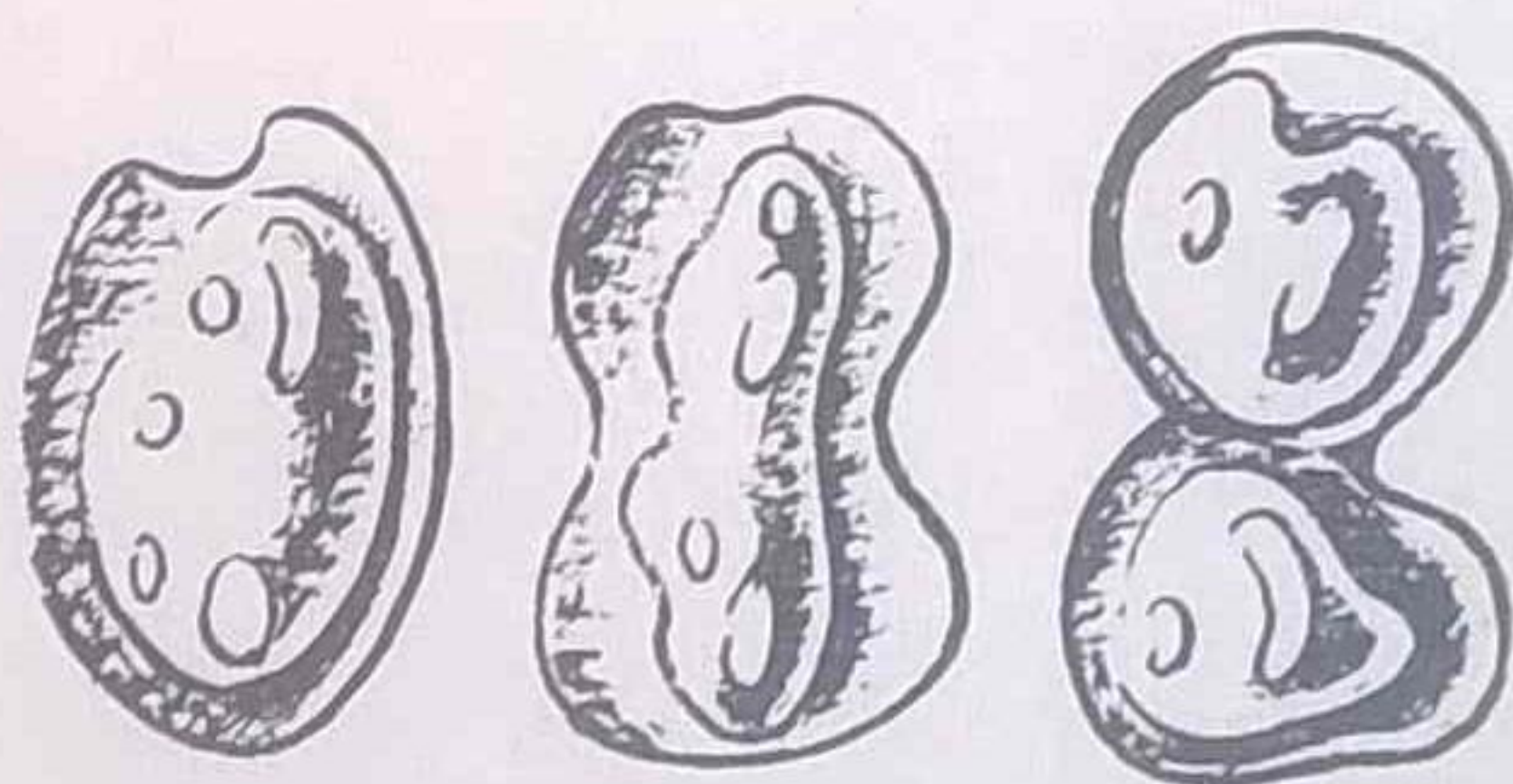
LA CELLULA

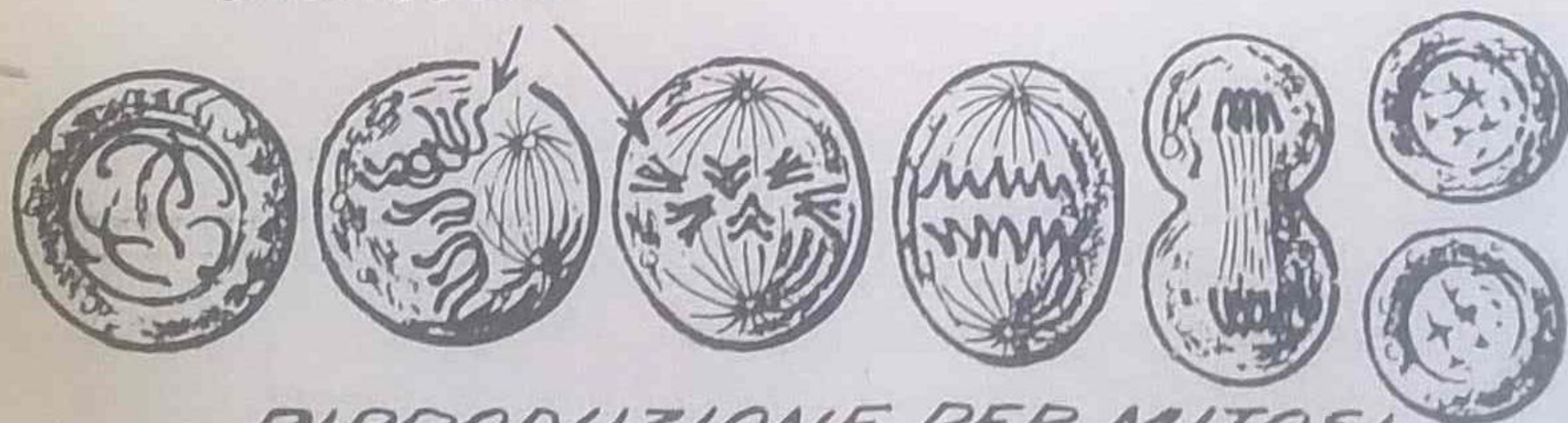
NUCLEO

CROMATINA DEL NUCLEO

CENTROSOMA

MEMBRANA

CITOPLASMA

RIPRODUZIONE PER DIVISIONE DIRETTA

CROMOSOMI

RIPRODUZIONE PER MITOSI

ra e, attorno a questa, una membrana: i cromosomi diventano confusi, ingrossano, diventano trasparenti: si è prodotto un nucleo ordinario, il nucleo della nuova cellula. La ricostruzione di questo nuovo nucleo può avvenire in una o due ore.

Ecco terminato il processo di divisione indiretta o di *mitosi;* il segreto di questo strano nome sta, naturalmente, nel greco: in greco la parola « mitos » vuol dire « filamento »... È chiaro ora?

La riproduzione cellulare entra in gioco continuamente durante la vita di un individuo. È soltanto per merito della riproduzione cellulare che un qualsiasi essere vivente, comunque complesso, comincia la sua vita; è per merito della riproduzione cellulare che questo essere cresce fino a giungere al suo completo sviluppo; è la riproduzione cellulare che, quando l'organismo è completamente formato, serve a riparare alla perdita di quelle cellule che, nei vari tessuti, vanno man mano morendo e anche a rigenerare quelle che sono state, eventualmente, asportate per cause estranee: (ecco perchè una ferita si cicatrizza, ecco perchè nelle piante le foglie si rinnovano ogni anno ed ecco perchè ricresce la coda di una lucertola che ne era stata privata).

Il numero dei cromosomi

Ma... quale sarà il significato di quelle strane manovre a cui il nucleo della cellula si dedica durante la suddivisione per mitosi? Perchè ogni cromosomo viene con tanta accuratezza diviso in due parti secondo la sua lunghezza in modo di poter essere con grandissima equanimità suddiviso tra le due cellule figlie? Questo fatto dà da pensare: *se* ogni cromosomo contenesse qualche cosa di essenziale per la vita e *se* questo qualche cosa fosse suddiviso in tante piccole cosine allineate nel cromosomo — come i grani in un rosario —, allora, perchè ognuna delle due cellule figlie potesse ereditare dalla genitrice un gruppo completo di queste cose essenziali alla sua vita, la suddivisione dovrebbe proprio avvenire in questo modo, cioè per il lungo. Vedremo tra breve se questa ipotesi corrisponde a realtà.

Dunque ogni volta che in un organismo, per esempio nel corpo umano, c'è una crescita (sia che si tratti del rinnovarsi dell'epidermide, sia che si tratti del naturale sviluppo del corpo, o di una cicatrizzazione o dell'ingrossamento di un muscolo), questa crescita è dovuta alla proliferazione di migliaia di cellule; ogni cellula si riproduce per mezzo di una mitosi; durante ogni mitosi ha luogo quella accurata suddivisione a metà di ogni cromosomo. *Tutte le migliaia e migliaia di cellule di un individuo posseggono perciò esattamente lo stesso numero di cromosomi.*

Ma cellule di specie diverse hanno, di solito, un numero di cromosomi diverso.[1] Mi spiego: una cellula di topo, per esempio — qualunque sia il topo e qualunque sia la cellula — possiede quaranta cromosomi, una cellula di uomo ne possiede quarantotto, alcuni gamberi ne hanno oltre duecento; alcuni vermi ne hanno due, una cellula di un frumento duro ne ha quattordici e una cellula di uno di quei moscerini che qualche volta vedete volare la sera intorno alla vostra lampada (e che trovate raggruppati intorno a un frutto andato a male) ne ha soltanto otto.

Incidentalmente vi dico che questi moscerini, che certamente hanno occupato molto poco posto nella vostra vita, ne occupano invece uno grandissimo nella vita di quegli scienziati che si occupano di questi studi sulla riproduzione; questo moscerino si chiama « Drosophila melanogaster » e quegli scienziati — che prendono il nome di genetisti — ne hanno fatto oggetto di accurate ed elaborate esperienze. Perchè proprio quel moscerino tra tanti esseri viventi che popolano la terra? Non certo per capriccio; ma perchè quel moscerino offre condizioni particolarmente favorevoli allo svolgersi di quelle ricerche.

LA DROSOPHILA MELANOGASTER

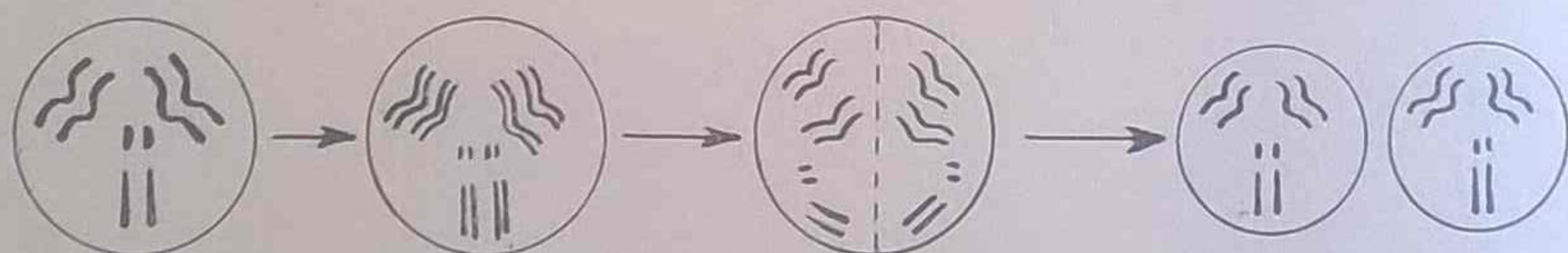
E I SUOI CROMOSOMI

Chiudo la parentesi del moscerino delle frutta e torno ai cromosomi.

Dunque il gruppo di

[1] Si trovano, però, anche specie diverse con eguale numero di cromosomi.

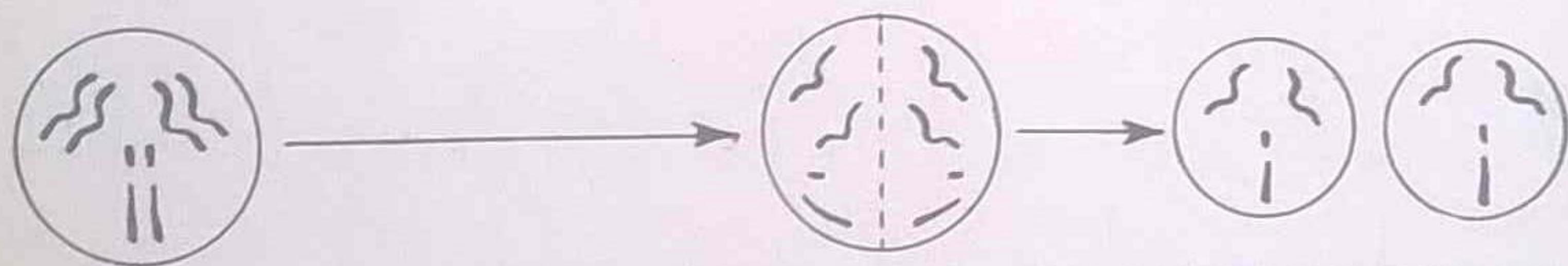
cromosomi contenuto nel nucleo di una cellula è, di solito, diverso da specie a specie; la differenza però non consiste soltanto nel numero dei cromosomi ma anche nella loro forma: essi possono essere diritti o curvi, grossi o sottili... Ogni essere vivente ha il suo caratteristico corredo di cromosomi e con l'accuratezza della divisione per il lungo di questi cromosomi provvede a che questo corredo si mantenga inalterato in ogni singola mitosi.

Guardiamo ora un po' più da vicino il gruppo di cromosomi di una cellula di un certo individuo: ci accorgiamo allora che questo gruppo è in realtà formato da due gruppi identici; in modo che il corredo di cromosomi di una cellula è formato da tante coppie. Quindi, invece di dire che una cellula di uomo ha quarantotto cromosomi e una cellula di drosophila ne ha otto, ecc., sarebbe più esatto dire che l'uomo ha ventiquattro paia di cromosomi, la drosophila ne ha quattro paia, eccetera.

MITOSI DI UNA CELLULA DI DROSOPHILA

Eccovi, a pag. 411, il disegno schematico di cromosomi della drosophila; ogni nucleo cellulare di questo moscerino contiene due paia di cromosomi a forma V, un paio di piccolissimi cromosomi a forma di goccia ed un paio di grosse bacchette diritte. Ed eccovi il disegno schematico di ciò che accade di queste quattro paia di cromosomi durante la riproduzione per mitosi di questa cellula: come vedete, accurata suddivisione per il lungo ed equa distribuzione tra le due cellule figlie dei cromosomi della cellula madre; le due figlie risultano perciò identiche tra loro e identiche alla madre.

Meiosi

Ed ora devo farvi una confessione: ho detto una piccola bugia quando ho affermato che *tutte* le cellule di un organismo contengono lo stesso numero di cromosomi. Faccio debita ammenda e scrivo la verità: *quasi* tutte le cellule di un organismo contengono lo stesso numero di cromosomi. Ed ecco subito la spiegazione di quel « quasi ».

Esiste in ogni individuo un piccolo gruppo di cellule che si comportano in modo molto diverso dalle altre. In principio queste cellule si riproducono, come le altre, per mitosi; ogni volta quindi si ha la solita suddivisione per il lungo di tutti i cromosomi e la conseguente equa distribuzione tra le cellule figlie. Però, dopo un numero più o meno grande di mitosi, avviene una cosa assolutamente inaspettata: queste poche cellule si riproducono ancora, ma non più per mitosi; esse seguono ora

MEIOSI DI UNA CELLULA DI DROSOPHILA

un nuovo meccanismo, che si chiama *meiosi*, la cui caratteristica principale è la seguente: prima della suddivisione i cromosomi *non* si dividono in due per il lungo, in modo che il loro numero *non* si raddoppia; ogni cellula figlia riceve un cromosomo di ogni coppia, in modo che, in definitiva, si trova ad avere soltanto metà dei cromosomi che possedeva la cellula madre. Ecco nella figura una rappresentazione schematica della riproduzione per meiosi di una di quelle cellule speciali della drosophila.

Dunque tutte le cellule che si originano per mitosi hanno due gruppi identici di cromosomi; quelle poche cellule che si originano per meiosi hanno un sol gruppo di cromosomi. Per esempio, una di queste particolari cellule dell'uomo possiede soltanto ventiquattro cromosomi.

La fecondazione

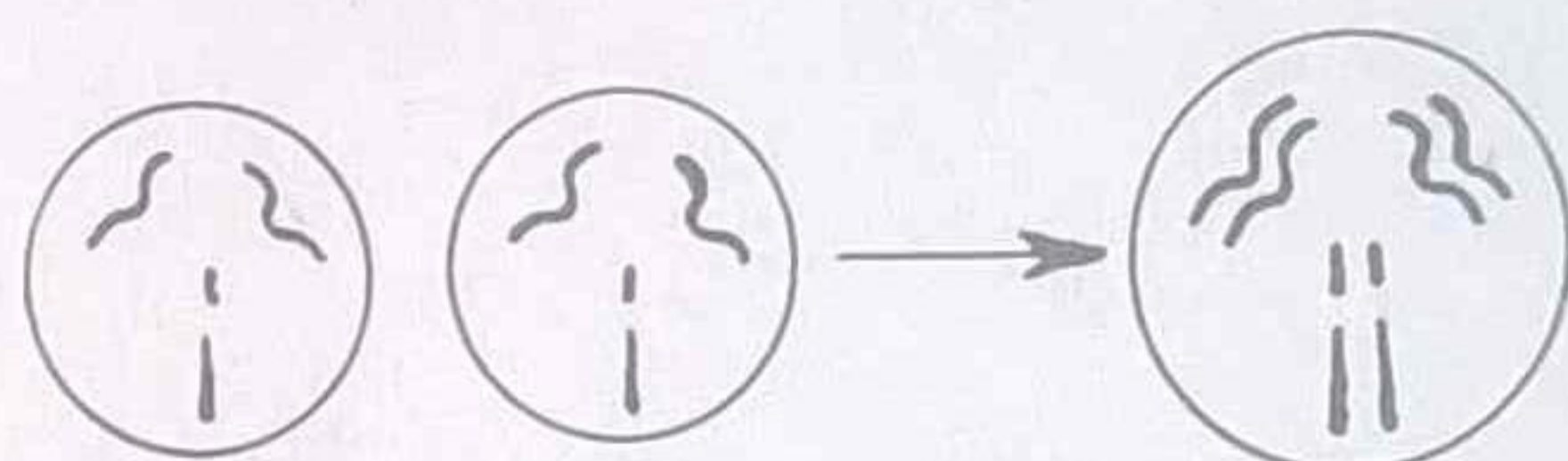
Che cosa accade di queste poche, anomale cellule che posseggono un numero di cromosomi ridotto a metà? È ciò che vedremo subito; prima però vorrei fermarmi un momento sulla questione dei nomi; soltanto un momentino, tanto per poterci intendere.

Dunque quelle cellule madri che a un certo punto della loro vita si riproducono per meiosi, si chiamano *cellule germinali;* e le cellule figlie a cui esse danno luogo — quelle cellule che posseggono un numero di cromosomi che è la metà dei cromosomi posseduti dalle altre cellule dello stesso organismo — si chiamano *gameti*. Per quanto poche e per quanto anomale, queste sono le cellule di gran lunga più importanti di un organismo; *sono esse le sole responsabili della riproduzione degli individui;* è all'esistenza di queste cellule che io e voi, quel gatto e quei pesci... dobbiamo riconoscenza se siamo venuti ad accrescere la popolazione di questa nostra terra.

Queste poche, anomale cellule che hanno un numero di cromosomi ridotto a metà e che si chiamano gameti, sono di solito, di due tipi : i gameti maschi, più piccoli, che si chiamano *spermatozoi*, e i gameti femmina, più grandi, che si chiamano *uova*. A seconda della diversa specie di essere vivente che si considera, la differenza di forma e di dimensioni tra spermatozoi ed uova può essere più o meno marcata : ma in tutti i casi sia gli spermatozoi che le uova sono cellule che hanno un numero di cromosomi metà.

Dunque i gameti sono le cellule di un organismo addette esclusivamente alla formazione di un nuovo individuo. Come avviene questo processo di riproduzione?

Premetto che ci limiteremo, per il momento, a considerare le forme più alte — cioè più complesse — di animali nei quali il processo della riproduzione è essenzialmente lo stesso (riproduzione *sessuale*). In queste forme i gameti maschi e femmine sono portati da individui diversi; e precisamente gli spermatozoi sono portati da colui che sarà il padre del nuovo essere e le uova dalla futura madre.

Perchè possa avere origine un nuovo individuo, è necessario che uno spermatozoo e un uovo si fondano insieme a formare un'unica cellula: vediamo cosa accade allora. Sia lo spermatozoo che l'uovo avevano un numero di cromosomi metà: per fissare le idee, supponiamo che si tratti di gameti di drosophila; ognuno di questi ha quattro cromosomi. Quando lo spermatozoo e l'uovo si uniscono insieme, cioè quando, come si dice, avviene la fecondazione, la nuova cellula che si origina (uovo fecondato) possiederà sia il gruppo di cromosomi dello spermatozoo che quello dell'uovo; essa cioè possiederà di nuovo il numero di cromosomi caratteristico della specie: nel caso della drosophila, l'uovo fecondato è una cellula che possiede otto cromosomi.

FECONDAZIONE DELLA DROSOPHILA

Eccoci dunque di nuovo in presenza di una cellula normale con i suoi due gruppi identici di cromosomi: uno di questi gruppi deriva dalla madre e uno dal padre. E ora questo uovo fecondato comincia la sua normale vita di cellula. Cresce e si riproduce, naturalmente per mitosi; le nuove cellule vanno differenziandosi, adattandosi alle varie funzioni, crescono e si riproducono, sempre per mitosi...; e, più o meno lentamente, si forma il nuovo essere che si avvia così al suo completo sviluppo. Il suo corpo è costituito da miriadi di cellule, ognuna delle quali ha quel numero di cromosomi caratteristico della specie alla quale l'individuo appartiene.

Ma nel corpo del nuovo individuo, tra tante e tante cellule che vivono normalmente la loro vita, ve ne è qualcuna che si comporta in modo anomalo: sono queste le cellule germinali del nuovo essere che, a un certo punto della loro vita, si riprodurranno per meiosi: ecco i nuovi gameti, maschi e femmine, spermatozoi e uova. Ed ecco poi la fecondazione, ed ecco il nuovo uovo fecondato, prima cellula di un nuovo essere; e questa cresce e si riproduce. E un nuovo essere va formandosi e si avvia al suo completo sviluppo...

Il primo individuo che abbiamo considerato non è morto

completamente. Il suo corpo è morto ma una sua cellula, il gamete, si è staccata da quel corpo e vive ancora in un suo figlio; il corpo di questi morrà, ma prima si staccherà da lui un nuovo gamete che va a perpetuare la vita nel figlio... Un individuo che si riproduca non morrà mai completamente: una piccola parte della sua sostanza vivente viene trasmessa per sempre, di generazione in generazione.

Il perchè della meiosi

Possiamo ora spiegarci il perchè di quella anomala forma di riproduzione — la meiosi — per mezzo della quale le cellule germinali generano i gameti. Se questi avessero origine da un processo di mitosi, possederebbero (ognuno) un numero completo di cromosomi; e l'uovo fecondato (e di conseguenza tutte le cellule del nuovo individuo) avrebbe un numero doppio di cromosomi, che l'individuo successivo raddoppierebbe ancora, eccetera. Così, di generazione in generazione, il numero di cromosomi andrebbe continuamente raddoppiando; il che, naturalmente, sarebbe una cosa assurda.

La divisione per meiosi delle cellule germinali serve a mantenere costante il numero dei cromosomi nelle cellule dei successivi individui di una determinata specie.

Maschio o femmina?

Vorrei ora dirvi come oggi la biologia risponde con molta chiarezza a una domanda che aveva finora ricevuto le più bizzarre e fantastiche risposte. Che cosa è che determina se un bambino o un giovane animale sarà maschio o femmina?

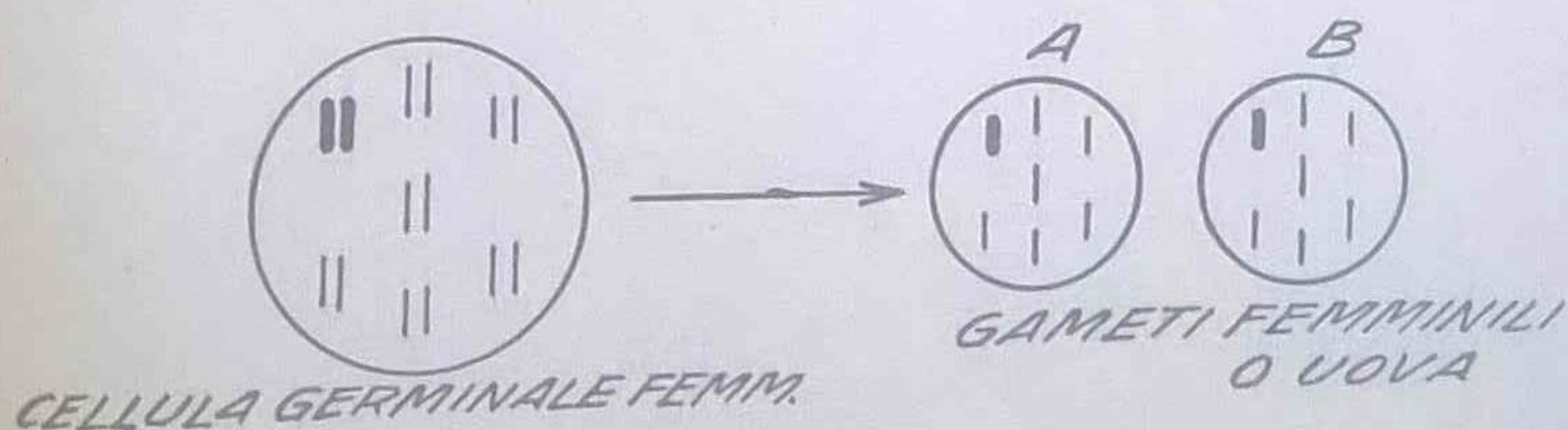
La determinazione del sesso non dipende nè dalle impressioni materne, nè dalla quantità o dalla qualità del nutrimento

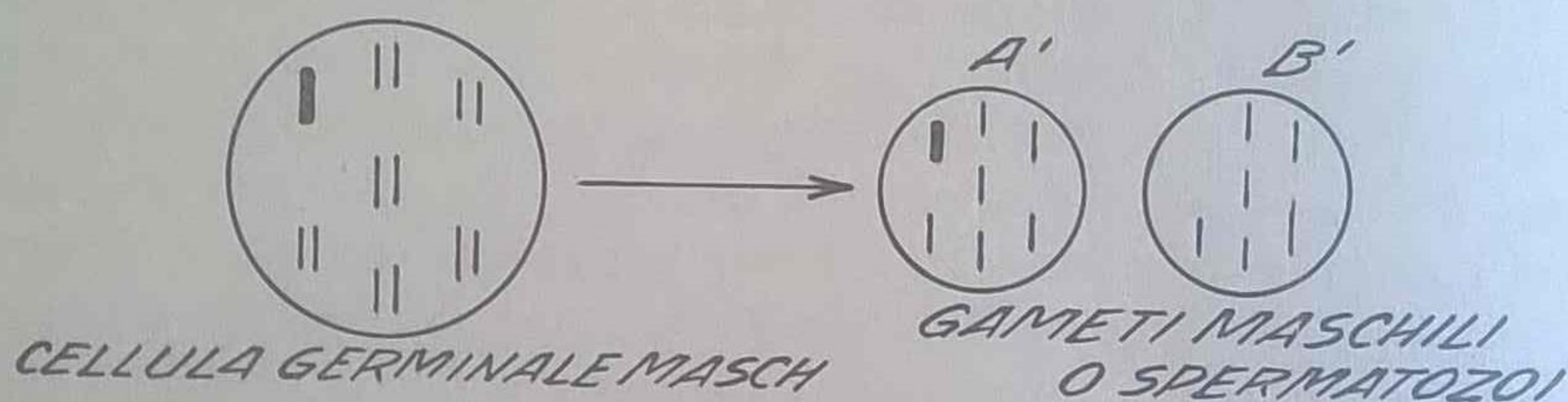
TAVOLA XVIII

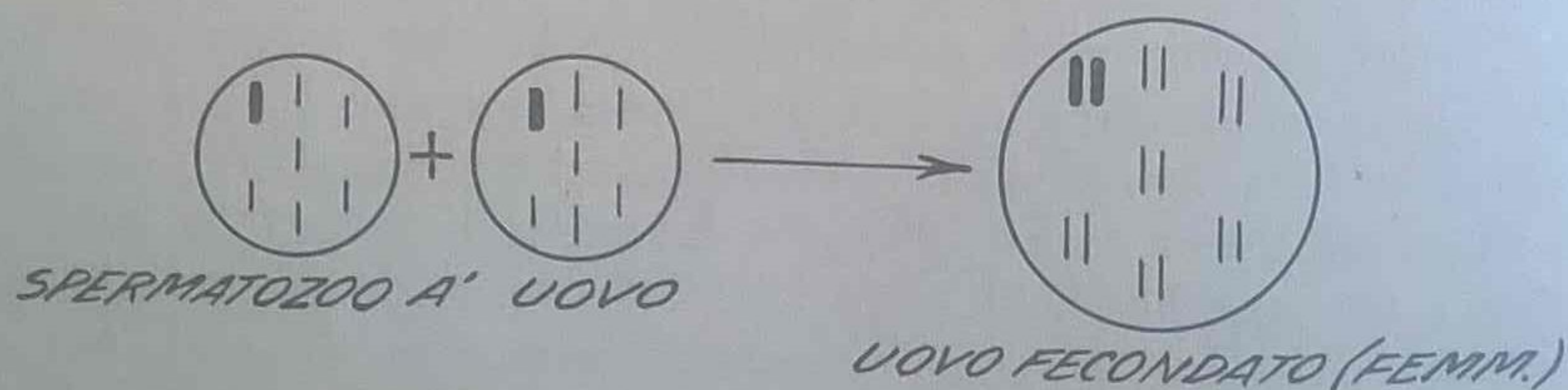
Cromosomi della saliva di una Drosophila (*Wide World Photo*).

della madre, nè da autosuggestione; a tutte queste risposte suggerite dalla fantasia, i biologi ne sostituiscono una fondata su seri risultati scientifici: gli unici responsabili della determinazione del sesso sono i cromosomi. Ancora i cromosomi... Questi bastoncelli diritti o ricurvi, più lunghi o più corti, ma sempre così piccoli da potere essere distinti soltanto con l'aiuto del più potente microscopio, questi bastoncelli di viscido protoplasma determinano il nostro corpo, determinano il nostro sesso e, come vedremo, determinano il nostro carattere: ogni essere umano è quello che è a causa del particolare corredo cromosomico che ha ricevuto al momento in cui è stato concepito.

Vediamo dunque in che modo i cromosomi entrano nella questione della determinazione del sesso. Qualche decina di anni fa i biologi, studiando le cellule di alcuni insetti, si accorsero di una cosa strana: il numero dei cromosomi è diverso a seconda del sesso. E precisamente: se la cellula appartiene a un individuo *femmina*, essa è quale l'abbiamo descritta: ha cioè un numero *pari* di cromosomi, un paio di ogni tipo; se invece la cellula appartiene a un individuo *maschio*, essa ha un numero *dispari* di cromosomi: una delle coppie è costituita da un sol cromosomo. Questo particolare cromosomo, che nella femmina è duplice e nel maschio è unico, fu chiamato *cromosomo* X.

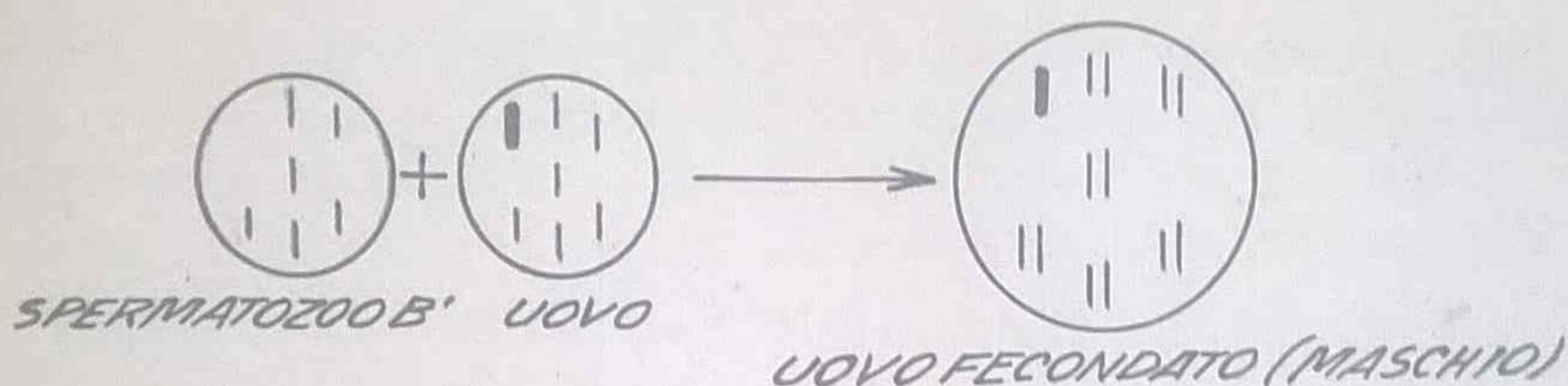
Dunque tutte le cellule della femmina hanno *due* cromosomi X e quelle del maschio ne hanno *uno* solo; in particolare, le cellule germinali della femmina hanno due cromosomi X mentre quelle del maschio ne hanno uno solo. Che cosa accade quando da queste cellule germinali si originano, per meiosi, i gameti? Guardiamo la figura, nella quale ho, schematicamente, segnati i cromosomi con tratti eguali; i cromosomi segnati in grosso sono i cromosomi X. Quando la cellula germinale femminile si riproduce per meiosi, ogni coppia di cromosomi si suddivide e

ognuna delle due cellule figlie (uova) riceverà un esemplare di ogni coppia di cromosomi; in particolare ognuno di questi due gameti femminili possiederà un cromosomo X. Quando invece la cellula germinale maschile subisce il processo di meiosi, si suddivideranno tutte le coppie di cromosomi tranne una: quella corrispondente al cromosomo X, infatti, non può suddividersi per la semplice ragione che non è una coppia ma è costituita da un unico cromosomo; questo cromosomo andrà a completare il corredo cromosomico di uno dei gameti maschili, mentre l'altro gamete deve accontentarsi di un numero di cromosomi che è di una unità inferiore.

A'
B'
CELLULA GERMINALE MASCH
GAMETI MASCHILI
O SPERMATOZOI

Ebbene, all'atto della fecondazione possono accadere due cose: o è lo spermatozoo A' che va a fecondare una delle due uova o è lo spermatozoo B'. Nel primo caso l'uovo fecondato risultante, che è la cellula capostipite del nuovo individuo, avrà due cromosomi X: il nuovo essere, cioè, sarà una femmina.

SPERMATOZOO A'
UOVO
UOVO FECONDATO (FEMM.)

Se invece è lo spermatozoo B' che va a unirsi ad uno (qualsiasi) delle due uova, la cellula risultante avrà soltanto un cromosomo X, dato che lo spermatozoo B' non ne possedeva affatto. Essa quindi è la prima cellula di un individuo maschio.

Ecco come il sesso è determinato dalla presenza o meno, nella prima cellula dell'individuo (e quindi, dopo, in tutte le al-

SPERMATOZOO B' UOVO

UOVO FECONDATO (MASCHIO)

tre) di un cromosomo, cioè di un microscopico bastoncello di viscida sostanza protoplasmatica.

Qualche volta le cose non sono così semplici. Ma per quanto il processo possa variare nei dettagli passando da una specie all'altra, esso, schematicamente, è quale ve l'ho precedentemente descritto.

Un abate, un giardino di un monastero e alcune piante di pisello

Intorno al 1850 nella città di Brno (Cecoslovacchia) un padre agostiniano, Gregorio Mendel, lavorava nel giardino del suo monastero. Coltivava accuratamente piante di piselli di diverse varietà: piselli a seme liscio e piselli a seme grinzoso. Il suo scopo però non era di mangiarli: egli osservava. Incrociava tra loro due piante a seme liscio, poi due piante a seme grinzoso, poi una pianta a seme liscio e una a seme grinzoso; osservava i risultati di questi incroci; incrociava poi tra loro in varie combinazioni gli individui di questa prima generazione, osservava i risultati di questi nuovi incroci, contava i rappresentanti delle due varietà in questa seconda generazione, incrociava ancora, osservava, contava... E questo per anni...

Per anni egli studiò sui piselli come si trasmettono i caratteri ereditari; si può pensare (ed effettivamente si pensava) che, per esempio, le successive generazioni prodotte dall'incrocio di una pianta di pisello a semi lisci e di una a semi grinzosi, possano essere, così *a caso*, piante a semi lisci o piante a semi grinzosi; che cioè due piante di pisello, riproducendosi, trasmettano

a caso ai loro discendenti quel carattere ereditario che si manifesta con la liscezza o la rugosità dei semi.

Con le sue instancabili, accurate, scientifiche esperienze, delle quali fu teatro un silenzioso giardino di monastero, l'abate Mendel invece dimostrò che la trasmissione dei caratteri ereditari avviene non a caso ma secondo leggi ben fisse; leggi che egli stesso enunciò e che oggi sono ovunque note sotto il nome di *leggi di Mendel*. Queste leggi permettono di prevedere quali caratteri presenteranno gli individui risultanti dall'incrocio di due individui che presentano caratteri differenti: che semi avranno, per esempio, le piante figlie di una pianta di pisello a semi lisci e di una a semi rugosi, e che semi avranno le figlie di queste figlie e gli individui della terza e della quarta generazione; di che colore potranno essere, per esempio, i figli di un topolino grigio e di un topolino bianco e i figli dei loro figli...; o di che colore potrà avere gli occhi un bimbo figlio di genitori entrambi con occhi scuri o entrambi con occhi chiari o di un genitore con occhi scuri e di uno con occhi chiari...

Ma quando nel 1865 questo meraviglioso ricercatore pubblicò il risultato delle sue ricerche, vide che esse caddero nell'indifferenza e nella incomprensione del mondo scientifico contemporaneo. E questa incomprensione e indifferenza durarono a lungo, ben oltre la morte dell'abate, morte che avvenne nel 1884; durarono fino al 1900 quando tre scienziati, quasi contemporaneamente ma indipendentemente, scartabellando tra vecchie note scientifiche alla ricerca di dati per alcune proprie esperienze, si imbatterono negli scritti di Mendel e ne compresero l'enorme valore. Le esperienze dell'abate furono allora riprese, ripetute, controllate, confermate e furono infine estese alla luce delle nuove conoscenze sul meccanismo della riproduzione. E si riconobbe che il lavoro di Mendel costituiva di gran lunga il passo più importante fatto dalla biologia nell'ultimo mezzo secolo e le leggi di Mendel furono la pietra angolare su cui si andò elevando quell'edificio che è, oggi, la genetica moderna.

Frattanto, nel silenzioso chiostro di Brno, quelle piante di piselli hanno, per anni, continuato inconsapevolmente a riprodursi e a fiorire.

Quelle cosine allineate nei cromosomi si chiamano « geni »

Non voglio enunciare qui le leggi di Mendel, che certamente vi sembrerebbero molto aride e forse anche incomprensibili. Ma con qualche esempio vi giustificherò l'interpretazione che quel geniale abate diede delle sue lunghe e pazienti ricerche.

Dunque egli suppose che in qualche luogo delle parti addette alla riproduzione, esistano tanti *qualcosa,* ognuno dei quali abbia la funzione di controllare un particolare carattere; che, per esempio, le sue piante di pisello a semi rugosi possedessero un *qualcosa* il quale fosse, per così dire, il solo responsabile della rugosità dei semi; mentre nelle piante a semi lisci, questo *qualcosa* fosse invece responsabile della liscezza dei semi. E come esiste un *qualcosa* che controlla il carattere rugosità o liscezza dei semi, così ne esiste un altro che, per esempio, controlla il colore dei fiori, eccetera; ogni particolare carattere ha il suo corrispondente *qualcosa.* E questo *qualcosa* si trasmette inalterato alle generazioni successive.

Che cosa sono questi *qualcosa* e dove sono localizzati? A queste domande Mendel non poteva rispondere; ad esse può cercare di rispondere soltanto il biologo moderno, il quale conosce l'esistenza dei cromosomi e le modalità del fenomeno della riproduzione.

Quando ci chiedemmo perchè durante la mitosi ognuno dei cromosomi della cellula madre si divide con tanta accuratezza ed equanimità in due parti secondo la sua lunghezza, aggiungemmo queste parole: « *se* ogni cromosomo contenesse *qualcosa* di essenziale per la vita e se questo qualche cosa fosse suddiviso in tante piccole cosine allineate nel cromosomo come i grani in un rosario, allora perchè ognuna delle due cellule figlie potesse ereditare dalla genitrice un gruppo completo di queste cose essenziali alla sua vita, durante la riproduzione la suddivisione dei cromosomi dovrebbe proprio avvenire in questo modo, cioè per il lungo ». Ebbene è proprio così: per spiegare le leggi di Mendel è necessario supporre che ogni cromosomo porti in

sè, allineati come i grani di un rosario, quei qualcosa responsabili dei vari caratteri dell'individuo, quei qualcosa a cui è stato dato il nome di *geni;* e questi geni possono trasmettersi inalterati alle cellule figlie proprio perchè, durante la riproduzione, ogni cromosomo si divide per il lungo esattamente a metà; ogni gene quindi viene suddiviso con giustizia tra le due cellule figlie.

Noi non sappiamo di che natura siano questi geni; sappiamo soltanto che, per spiegare le varie osservazioni sulla ereditarietà dei diversi caratteri, è *necessario* che questi geni, qualunque sia la loro natura, si trovino allineati in bell'ordine nei cromosomi.

Il colore di un fiore

E poichè ogni cellula normale di un individuo (tranne quelle cellule anomale, i gameti, che si sono originate per meiosi) contiene due gruppi identici di cromosomi, conterrà anche, di conseguenza, due gruppi di geni; ad ogni carattere corrisponderà una coppia di geni.

Vediamo, per esempio, come si svolgono le cose nel caso di quella pianta ornamentale che ha il nome latino « Mirabilis jalapa » e che è comunemente chiamata « Bella di Notte ». Dunque, due varietà di questa pianta differiscono per il colore dei loro fiori: una ha i fiori bianchi e una ha i fiori rossi. In ognuna delle cellule di queste piante (e in particolare nelle cellule germinali) esisterà una coppia di geni responsabile del colore dei fiori: nella pianta a fiori rossi, questi geni saranno tali da imporre ai fiori il colore rosso, mentre nella pianta a fiori bianchi essi saranno tali da imporre il colore bianco; per brevità, ma impropriamente, diremo che le cellule della pianta a fiori rossi hanno due geni rossi e le cellule della pianta a fiori bianchi hanno una coppia di geni bianchi.

In particolare, anche le cellule germinali delle due piante conterranno, rispettivamente, una coppia di geni rossi e una coppia di geni bianchi; nelle figure seguenti, tanto per intenderci,

rappresenteremo con cerchietti pieni i geni rossi e con cerchietti vuoti i geni bianchi.

Quando la cellula germinale della pianta a fiori rossi si riproduce, per meiosi, per dar luogo ai gameti, ogni gamete riceverà un gene rosso; e una cosa analoga accade quando è la cellula germinale della pianta a fiori bianchi a riprodursi.

Vediamo ora che cosa accade se incrociamo una pianta a fiori rossi con una a fiori bianchi, se, cioè, facciamo fecondare (per esempio) l'ovulo di una pianta a fiori rossi dal polline di una a fiori bianchi (o viceversa). Evidentemente l'ovulo fecondato, che è la prima cellula della nuova pianta, possiederà un gene rosso (proveniente dalla madre) e uno bianco (datogli in eredità dal padre).

Ecco dunque una pianta i cui fiori, dovendo essere rossi da parte di madre e bianchi da parte di padre, non sono nè rossi nè bianchi ma una cosa di mezzo: essi sono rosa.

Questa pianta cresce, le sue cellule si riproducono, si moltiplicano; ognuna possiede un gene rosso e un gene bianco. Tra queste ecco le cellule germinali, anche esse con un gene rosso e uno bianco. Quando una di queste cellule si riprodurrà (naturalmente per meiosi), la coppia di geni si separerà e uno dei gameti riceverà un gene rosso e l'altro un gene bianco.

Se ora facciamo incrociare tra loro due di queste piante figlie, entrambe a fiori rosa, potremo avere diversi casi, che sono molto chiaramente (almeno mi sembra) mostrati dalla figura di pag. 425.

1° caso. La pianta figlia ha origine dall'unione del gamete 1 della prima pianta col gamete 1 della seconda: l'ovulo fecondato avrà due geni bianchi, quindi la nuova pianta avrà fiori bianchi.

2° caso. Il gamete 1 della prima pianta va a fecondare il gamete 2 della seconda; le cellule della pianta figlia avranno un gene bianco e uno rosso; ecco quindi una pianta a fiori rosa.

3° caso. Il gamete 2 della prima pianta feconda il gamete 1 della seconda; ancora pianta a fiori rosa.

4° caso. Il gamete 2 della prima pianta si unisce al gamete 2 della seconda: pianta a fiori rossi.

Quindi la teoria ci dice che, incrociando tra loro due piante di Mirabilis Jalapa a fiori rosa, non avremo (come forse potremmo pensare se ragionassimo a lume di naso) sempre piante a fiori rosa, ma anche piante a fiori bianchi e piante a fiori rossi.

Ebbene tutto ciò viene confermato pienamente dalla esperienza. Se si esegue un certo numero di incroci tra piante di Mirabilis Jalapa a fiori rosa, si trova che il 50 per cento delle piante figlie ha fiori rosa, il 25 per cento fiori rossi e il 25 per cento fiori bianchi.

Che cosa sembra più capriccioso e più affidato al caso del colore di un fiore? Eppure anche esso ubbidisce a regole rigide come quelle che vigono nel mondo matematico.

Caratteri dominanti

Dunque il colore rosa di quei fiori che abbiamo or ora osservato con tanta attenzione, non è che il risultato visibile di due influenze indipendenti e antagoniste. Nell'interno di ogni cellula di quella pianta coesistono l'uno accanto all'altro, senza mescolarsi nè contaminarsi, un gene rosso e un gene bianco; il colore rosa è un compromesso tra quel rosso e questo bianco.

E ciò che accade per il colore dei fiori della Mirabilis jalapa, accade anche per diversi caratteri di altri organismi. Spesso però qualche cosa di molto importante viene a turbare questo schema; perchè non sempre i due geni presenti hanno, per così dire, la stessa forza in modo da produrre un effetto intermedio (nel nostro esempio, il colore rosa intermedio tra il colore rosso e il bianco); ma molto spesso — anzi, in verità, quasi sempre — uno dei due geni è più forte, più efficace dell'altro, in modo che la sua influenza ha il sopravvento; esso sarà allora il gene *dominante*, mentre l'altro, la cui influenza resta nascosta, è il gene *recessivo*.

Per vedere che cosa accade in questo caso, mi riferirò ai topolini bianchi e grigi, raccontandovi la prima esperienza di ere-

PIANTA
A FIORI
BIANCHI

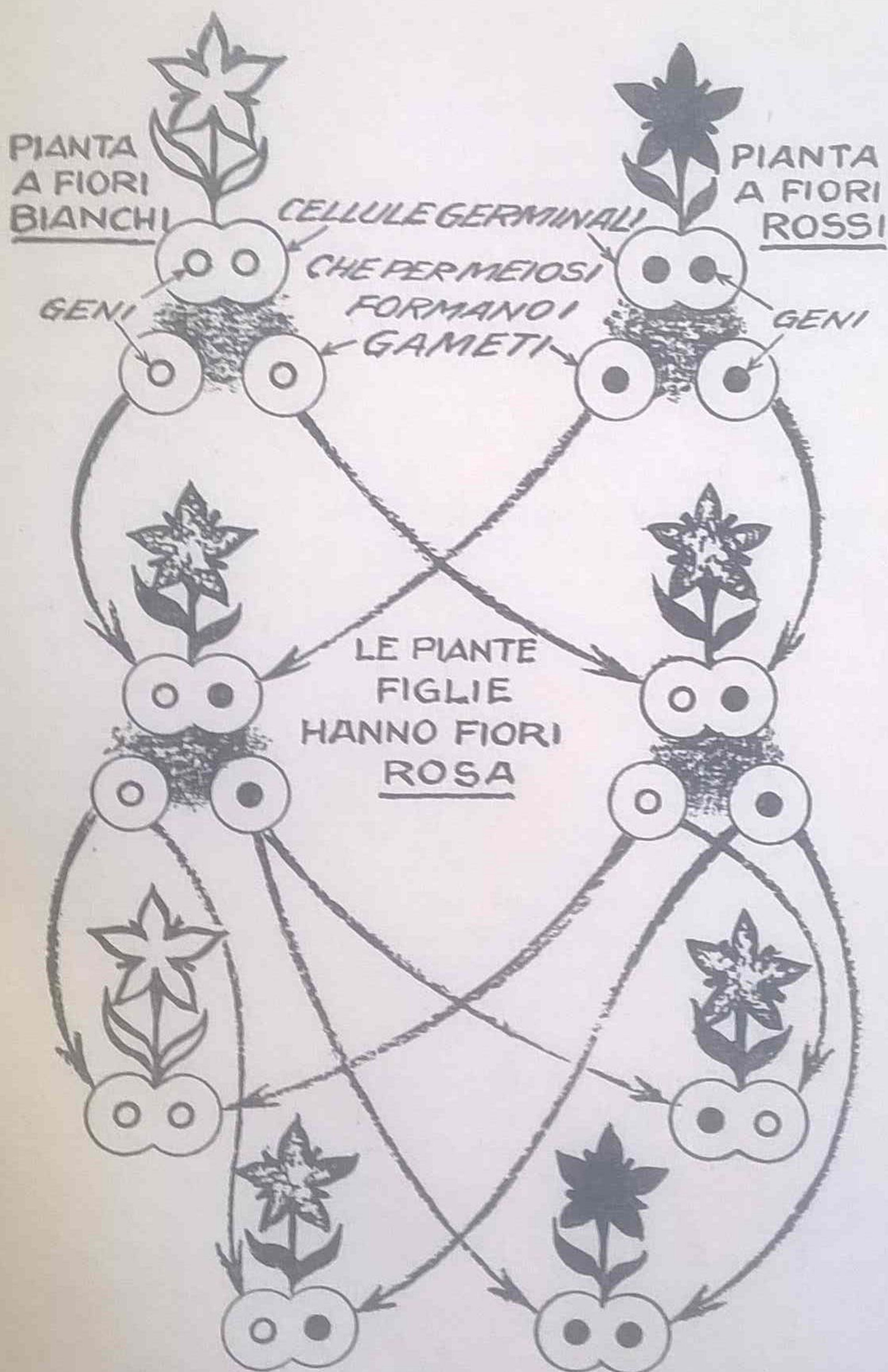
CELLULE GERMINALI
CHE PER MEIOSI
FORMANO I
GAMETI

PIANTA
A FIORI
ROSSI

GENI

GENI

LE PIANTE
FIGLIE
HANNO FIORI
ROSA

LE FIGLIE DELLE FIGLIE POSSONO AVE-
RE FIORI ROSA, BIANCHI O ROSSI

ditarietà fatta sugli animali; esperienza eseguita dal biologo Cuénot nel 1902.

Dunque prendiamo un topolino grigio e un topolino bianco e supponiamo che entrambi siano *puri,* cioè che il primo sia grigio per avere grigi entrambi i geni che controllano il suo colore, mentre il secondo abbia bianchi entrambi questi geni; indichiamo con un cerchietto pieno il gene grigio e con un cerchietto vuoto il gene bianco. Dopo la meiosi, i gameti del topolino grigio conterranno un gene grigio e quelli del topolino bianco conterranno un gene bianco.

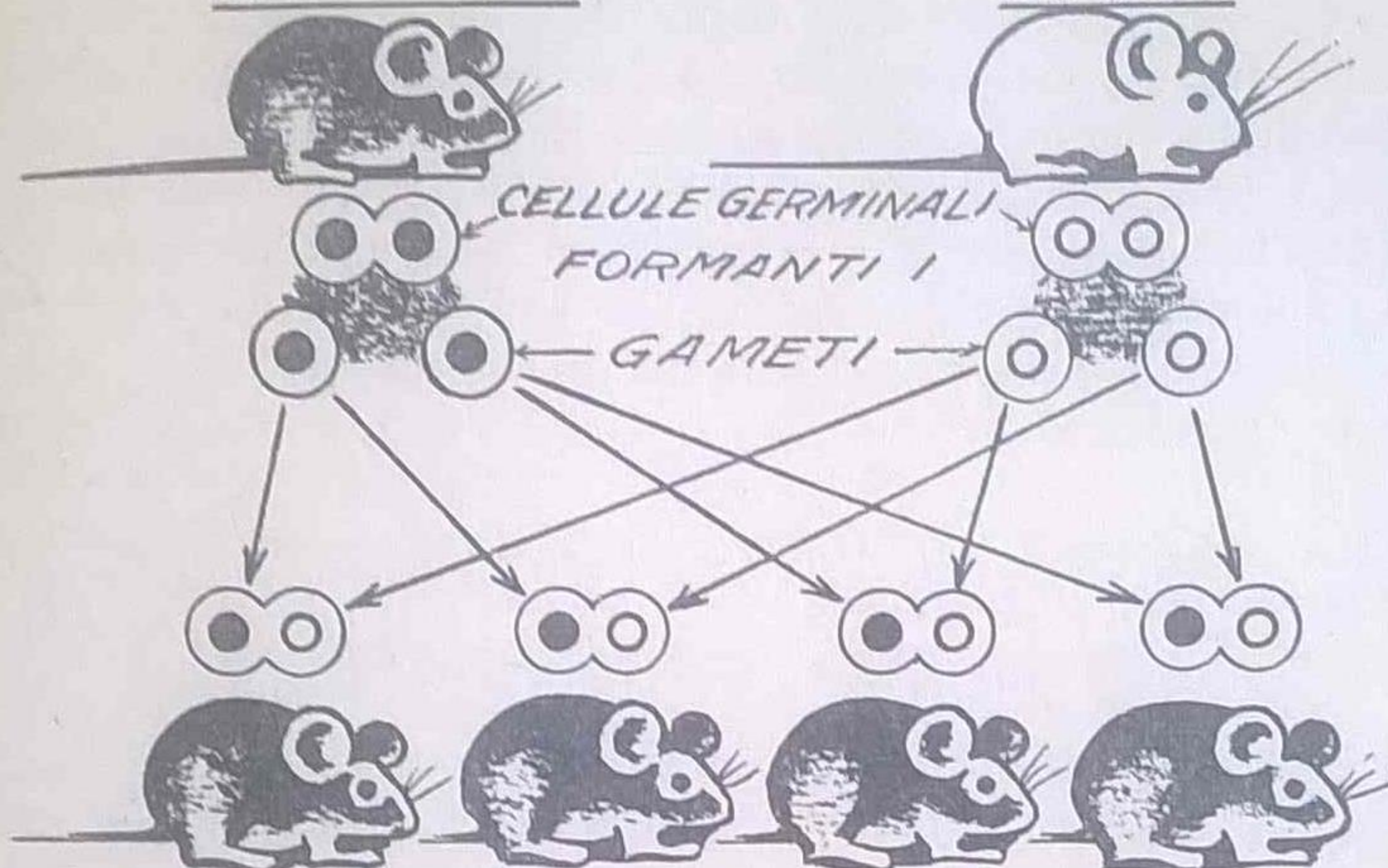
Vediamo ora che cosa accade se incrociamo il topolino grigio con il topolino bianco. Qualunque siano i loro gameti che si uniscono (o il gamete 1 del topolino grigio con il gamete 1 del bianco, o l'1 del grigio con il 2 del bianco, o il 2 con l'1, o, infine il 2 con il 2), il topolino figlio avrà sempre nelle sue cellule un gene grigio e un gene bianco. Il signor Cuénot però vide, eseguendo l'esperienza, che i topolini figli di un topolino grigio e uno bianco sono *sempre* grigi, apparentemente identici al genitore grigio: il che significa che, per quanto in essi siano presenti le due possibilità di colore — grigio e bianco — pure il carattere grigio è dominante: in essi l'influenza del gene bianco è nulla, completamente sommersa dal più potente gene grigio. Questo gene bianco, però, esiste in ogni cellula del loro corpo, anche se esso è senza effetto visibile.

Ma non ho ancora finito con i topolini; vediamo ora che cosa accade nella seconda generazione. Dunque facciamo incrociare tra loro due di questi topolini grigi « non puri » (o « ibridi ») della prima generazione, i cui gameti contengono o un gamete grigio o uno bianco.

Come mostra, mi sembra chiaramente, la figura, i topolini figli saranno nella proporzione di tre topolini grigi e un topolino bianco; i tre grigi sono, apparentemente, tutti eguali tra loro ma, andando a guardare i loro geni, vediamo che, in realtà, soltanto uno di essi è puro (il topolino 1, 1), mentre gli altri due (1, 2 e 2, 1) sono ibridi, cioè con un gene grigio e uno bianco; essi appaiono grigi per la dominanza del gene corrispondente. Ed ecco un topolino bianco (2, 2): dalla unione di due topi grigi può nascere un topolino bianco! Quei geni bianchi

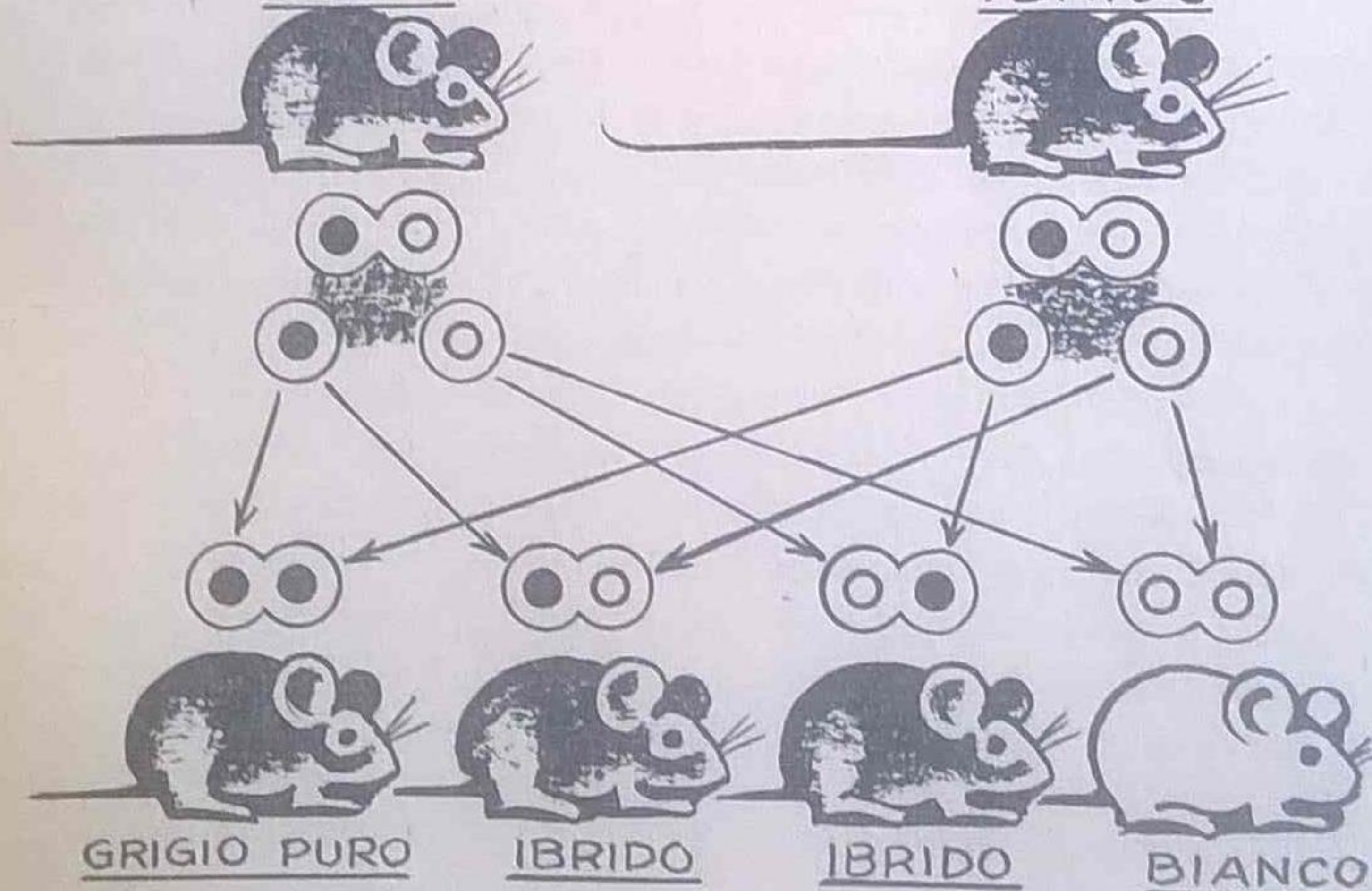
GRIGIO PURO

BIANCO

CELLULE GERMINALI FORMANTI I GAMETI

IL GRIGIO È DOMINANTE SUL BIANCO:
I FIGLI SONO GRIGI, MA TUTTI IBRIDI

IBRIDO

IBRIDO

GRIGIO PURO IBRIDO IBRIDO BIANCO

TOPI IBRIDI POSSONO DARE FIGLI PURI

che, nella prima generazione, non avevano potuto manifestare la loro esistenza vinti dalla dominanza del gene grigio, hanno continuato a coesistere silenziosi, inavvertiti accanto a questi; ma non appena hanno potuto liberarsi da quella presenza dominatrice, non appena sono riusciti a unirsi tra loro, ecco che di nuovo la loro influenza si fa manifesta: ecco un topolino bianco figlio di due topolini grigi.

E così si spiega una nascita che, a prima vista, poteva sembrare anomala.

Due parole sul colore dei vostri occhi

Veramente il colore degli occhi è un argomento che, di solito, è di specifica competenza dei poeti; vi dispiace se entro per un momento in questo campo riservato, portando con me il mio modesto linguaggio in prosa? Mi difenderete dal sarcasmo e dall'ira dei poeti?

Vi ringrazio ed entro: ecco occhi chiari e occhi scuri. Ebbene, guardando questi occhi io posso dirvi alcune cose interessanti. Prima di tutto dovete sapere che il colore scuro degli occhi è un carattere dominante: mi spiego. Ognuno di voi ha, per ciò che riguarda il colore degli occhi, due possibilità (cioè due geni): una trasmessagli dalla madre e una dal padre. Se questi geni sono entrambi apportatori (per così dire) del colore scuro, voi avrete senz'altro occhi scuri; se essi sono entrambi apportatori del colore chiaro, voi avrete occhi chiari. Ma se uno dei vostri genitori vi ha trasmesso il gene apportatore del colore chiaro e uno quello del colore scuro, avrete occhi scuri, dato che il colore scuro è un carattere dominante. Ciò non toglie però che voi possiate trasmettere a vostro figlio la possibilità « occhi chiari », cioè possiate trasmettergli quel carattere che, per essere recessivo, era rimasto latente in voi; latente ma pur sempre esistente.

Ecco perchè due genitori con occhi scuri possono avere un figlio con occhi chiari. Ciò dimostra soltanto che i genitori avevano occhi scuri ma non erano (parlando da un punto di vista

genetico) « puri »; essi avevano in sè la doppia possibilità: occhi scuri e occhi chiari. Entrambi hanno trasmesso al figlio il gene apportatore del colore chiaro: il figlio (o la figlia) ha i due geni « chiari »; ecco la ragione di quel luminoso sguardo azzurro che entusiasma quei poeti di cui parlavamo poco fa.

Ma se vedo due profondi occhi scuri, io posso dire con sicurezza: i genitori di quel ragazzo (o meglio di quella ragazza) non possono assolutamente avere entrambi gli occhi chiari. E avrete già capito perchè: se essi avessero entrambi gli occhi chiari, questo fatto indicherebbe — dato che il colore scuro è un carattere dominante — che ognuno di essi porta in sè soltanto la possibilità «occhi chiari ». Ecco perchè due paia di luminosi occhi azzurri non potranno mai essere genitori di un paio di profondi occhi neri.

Ma ora scappiamo in fretta: i dolci poeti cominciano ad averne abbastanza di questi insoliti e incomodi intrusi.

In cui si parla di cose tristi

Non bisogna però credere che esistano soltanto due casi: o perfetta eguaglianza dei due geni (caso della Mirabilis jalapa) o assoluta dominanza di uno dei due sull'altro (il colore grigio dei topolini di cui ci siamo or ora occupati). Tra questi due estremi — perfetta eguaglianza e assoluta dominanza — possono esistere casi intermedi in cui la dominanza è incompleta: se si incrocia un certo gallo bianco con una gallina bruna della stessa specie, gli individui ibridi della prima generazione (cioè quelli le cui cellule posseggono un gene bianco e un gene bruno) sono bianchi ma non del tutto: hanno qua e là una o due penne scure. In questo caso il bianco è il colore dominante, soltanto però in modo incompleto.

Ma non entriamo ora in maggiori dettagli, altrimenti molto facilmente le idee si confondono: e accontentiamoci di questo schema generale.

Il fatto che in tutto ciò ha la maggiore importanza, è che il gene recessivo è soltanto in apparenza in condizioni di inferiorità: sì, esso è nascosto, eclissato dalla prepotenza del gene dominante, ma in realtà esso continua a esistere esattamente come l'altro, senza essere in nessun modo nè alterato nè distrutto. Così nascosto, può attraversare generazioni e generazioni; ma non appena si presenta la buona occasione, non appena cioè si trova accoppiato con un altro gene dello stesso suo tipo, ecco che fa sentire inalterata tutta la sua influenza.

Questo fatto ha un'enorme importanza anche nel caso dell'uomo. Perchè questo gene che, completamente ignorato, può attraversare generazioni e generazioni, può essere un gene niente affatto piacevole: per esempio esiste nell'uomo un tipo di sordità, così completa che porta alla condizione di sordomutismo, che è recessiva; cioè se una persona porta nelle sue cellule un solo gene di questo tipo di sordomutismo, essa è, in apparenza. perfettamente normale e assolutamente inconscia di ciò che porta in sè. Se ora questa persona sposa un individuo normale, il quale cioè non possegga questo gene, i figli saranno apparentemente tutti normali; apparentemente soltanto, perchè alcuni di essi possono avere ereditato da quel genitore pericoloso e inconscio il gene di quella sordità; essendo però questo gene recessivo, la sua influenza resterà ancora nascosta e questi figli udranno e parleranno assolutamente come gli altri.

Ma se questa persona, invece di sposare un individuo che, da questo punto di vista, sia normale, ne sposa uno che anche esso possegga, inconsapevolmente, quel malefico gene, esiste una certa probabilità (precisamente di uno su quattro) che il gamete maschile (lo spermatozoo) che porta quel gene vada proprio a fecondare l'uovo che porta anche esso quel gene; ecco allora un individuo le cui cellule hanno entrambi i geni di quel sordomutismo; l'influenza di questi geni si manifesta ora in tutta la sua potenza: ecco come due persone, apparentemente normali, possono avere un figlio sordomuto.

Ed esistono altri terribili geni recessivi: uno di essi, per esempio, produce una anormalità dell'embrione il quale ha un solo, grande occhio invece di due; un altro invece produce l'epilessia, un altro la demenza precoce, ecc.

Sono cose poco allegre, vero? Ma c'è ancora di peggio...

Esistono alcuni geni recessivi che sono addirittura letali; uno di essi non produce il suo effetto se non è associato a uno non letale, mentre produce la morte del suo possessore se è associato a un gene del suo stesso tipo.

Per esempio nel topo esiste un gene che, quando è presente da solo, produce un individuo giallo, di buona salute per quanto con una lieve tendenza al grasso; ma quando questo gene è presente in doppio esemplare, l'animale muore prima di nascere.

Malattie, morte...; di quante, inattese conseguenze sono responsabili questi geni, questi... che ancora oggi dobbiamo chiamare « non so che » che si trovano in numero enorme allineati nei cromosomi, come i grani in un rosario.

E ora basta di parlare del colore dei fiori, di topi, di pazzia e di morte prematura; tutto ciò non ci è servito che a chiarire le leggi secondo cui si trasmettono i caratteri ereditari. Ognuno di noi ha ricevuto un completo gruppo di cromosoni da suo padre e un altro da sua madre; egli ha in sè questa eredità consegnatagli dai suoi genitori e non esiste caso nè destino che possa modificarla.

I geni contenuti nei suoi cromosoni sono responsabili del colore dei suoi occhi, dell'ondulazione dei suoi capelli, del neo che ha a lato della bocca, delle irregolarità dei suoi denti, del suo temperamento, della sua intelligenza, della sua resistenza alle malattie... L'ambiente e l'educazione potranno modificare questi caratteri, ma essi non avranno alcuna influenza sui corrispondenti geni che egli trasmetterà immutati ai suoi discendenti.

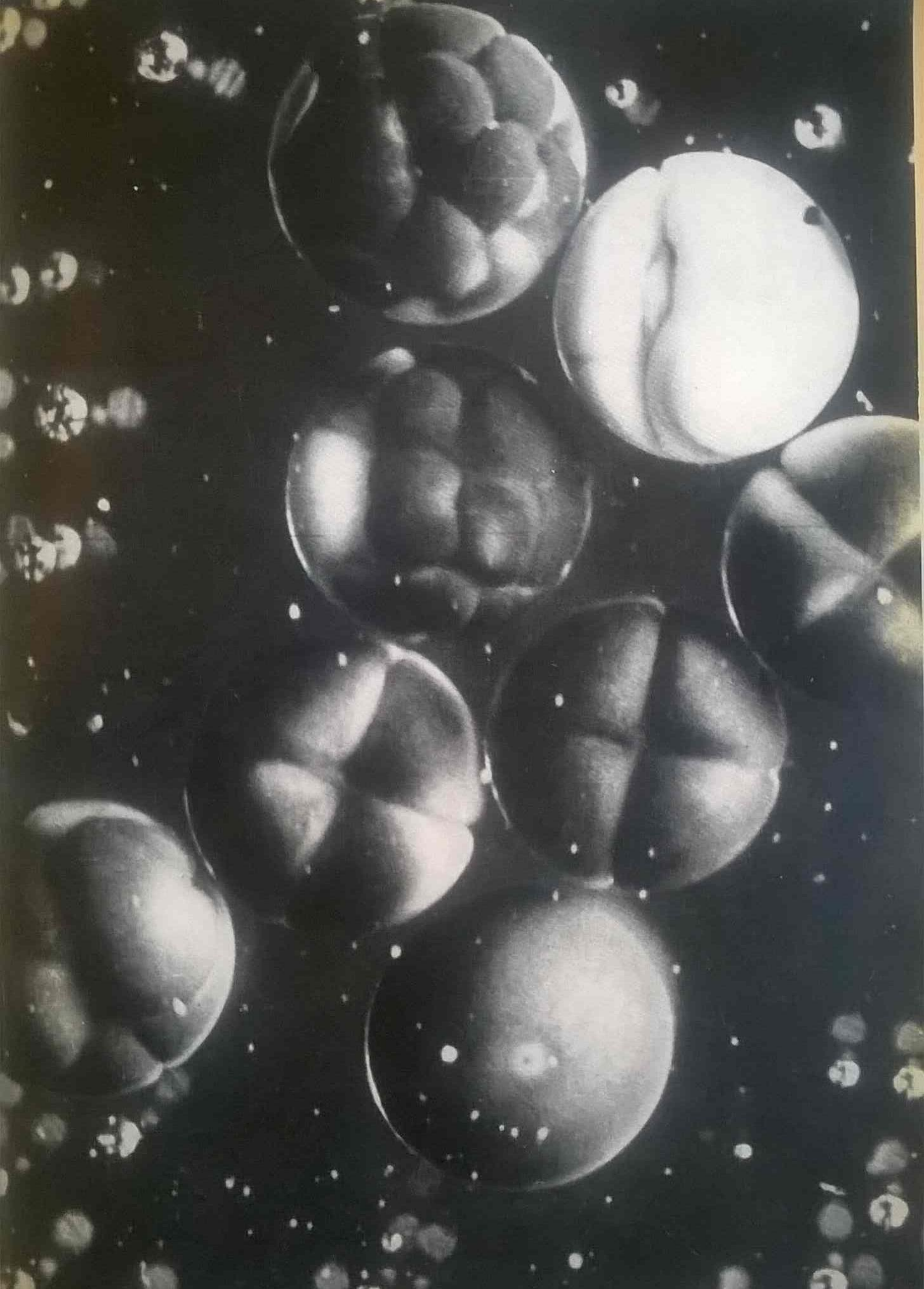



TAVOLA XIX

Segmentazione di un uovo di rana (*dal film* La rana *di A. Beccaria e R. Omegna*).

SVILUPPO E CRESCITA

Uova più o meno indipendenti

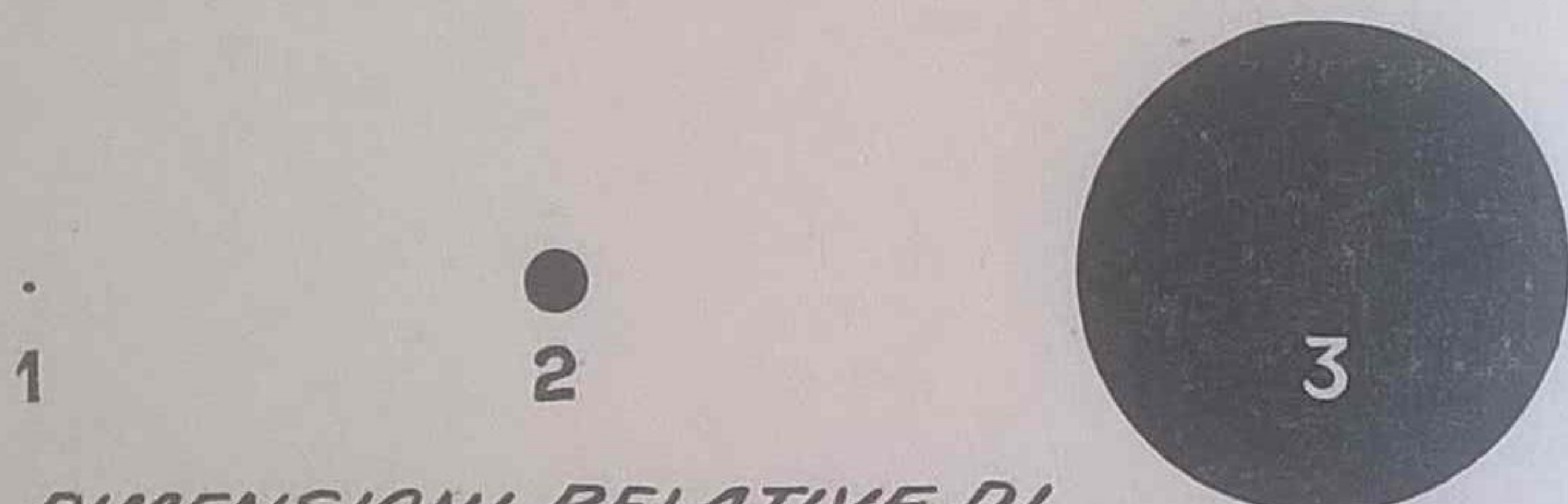
E ora soffermiamoci a guardare che cosa fa quella cellula che è risultata dalla unione dei due gameti, quell'uovo fecondato che è la prima espressione di ciò che diventerà, col tempo, un insieme innumerevole di cellule, ciascuna delle quali sarà bene adatta alla sua particolare funzione. Poichè quell'unica, quasi sempre piccolissima, particella di protoplasma è il punto di partenza di ciò che sarà un complesso, completo organismo vivente.

Come avviene questa trasformazione che ha del miracoloso? Guardiamo attentamente e osserviamo che cosa accade.

Ma... quale uovo dobbiamo guardare? Uno di quelle uova che vengono deposte dalla madre e si sviluppano fuori dell'organismo materno, oppure uno di quelli che si sviluppano, bene al calduccio, nell'interno del corpo della madre? Ma! Fate un po' voi; guardate quello che vi fa più piacere perchè, malgrado la grande differenza di dimensioni e qualche diversità di comportamento, il processo generale dello sviluppo è lo stesso.

Per farvi un'idea della differenza di dimensioni, guardate la figura, nella quale sono disegnate le grandezze relative di un uovo di anfiosso, di un uovo di rana e di un uovo di gallina (soltanto il tuorlo). L'uovo umano, che si sviluppa nell'interno del corpo materno, non misura che un quinto di millimetro.

Un uovo che venga deposto e che debba svilupparsi solo soletto, senza l'aiuto di alcuno, ha bisogno, naturalmente, di

1 2 3

DIMENSIONI RELATIVE DI UOVO DI ANFIOSSO (1), RANA (2), E TUORLO DI UOVO DI GALLINA (3)

avere a disposizione una grande quantità di sostanza nutriente a cui potere attingere per il suo sviluppo. Un uovo invece che, molto più comodamente, si sviluppi ben annidato nel corpo materno, non ha bisogno di questa provvista di nutrimento perchè esso lo sottrae man mano all'organismo della madre. Questo spiega la grande differenza di dimensioni tra le diverse uova; esse sono tutte essenzialmente costituite da citoplasma e nucleo; ma quelle a sviluppo... solitario posseggono in più, per le prime necessità, una grande quantità di sostanza nutritizia.

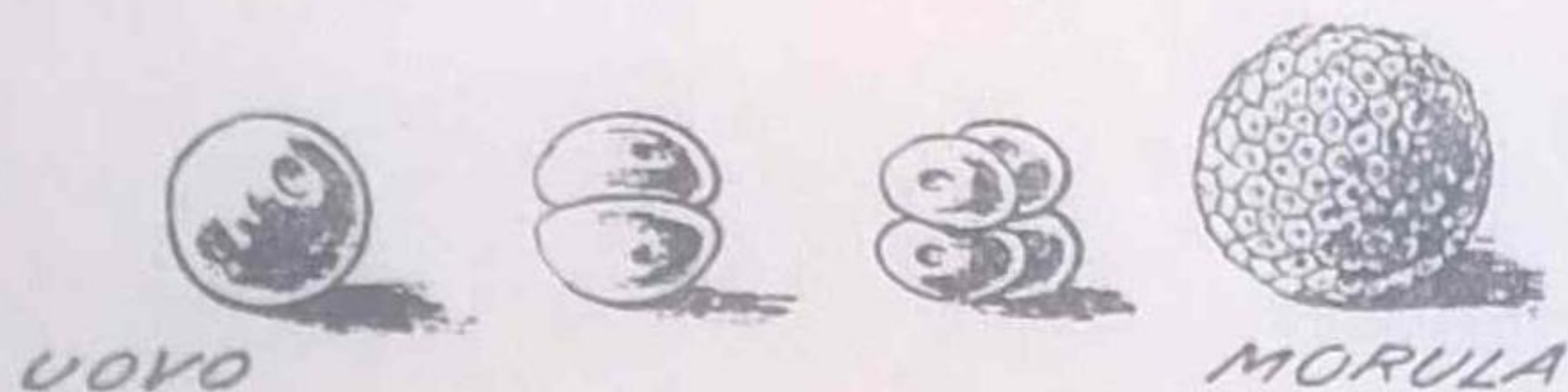
Dunque ognuno fissi la propria attenzione sull'uovo che più gli piace e guardiamo insieme che cosa accade.

Una piccola mora che non cresce sulle siepi

Circa un'ora dopo che il gamete maschile si è unito al gamete femminile, cioè circa un'ora dopo la fecondazione, l'uovo comincia a dividersi, naturalmente per mitosi, in due parti eguali.

Queste parti però, che aspirano anche esse a riprodursi, non fanno come le cellule ordinarie dell'organismo adulto, le quali prima crescono fino a raggiungere il volume originario della cellula madre e poi si dividono; no: queste prime cellule in cui l'uovo va suddividendosi non crescono tra una divisione e l'altra, in modo che l'intervallo tra le successive divisioni dell'uovo è molto breve.

Anche le nuove cellule hanno questa fretta di suddividersi; e così le successive... Spesso si sono già formate parecchie centinaia o migliaia o anche più cellule senza che la massa totale del protoplasma sia aumentata rispetto a quella di partenza. È questa una delle caratteristiche più particolari della segmentazione di tutte le uova.

La seconda divisione dell'uovo si effettua ad angolo retto rispetto alla prima; le quattro cellule così formate hanno, qualche volta, lo stesso volume, ma non raramente due di esse possono essere più piccole. La terza divisione è perpendicolare alle due prime.

Così vediamo, sotto ai nostri occhi, dividersi in parti sempre più numerose e sempre più piccole quell'unica cellula, quell'uovo fecondato sul quale avevamo fissato la nostra attenzione.

Ma poichè queste nuove cellule che vanno man mano nascendo tendono sempre ad assumere la forma sferica, al centro dell'uovo rimane una piccola cavità la quale va allargandosi man mano che il numero delle cellule aumenta e man mano quindi che il loro volume va diminuendo.

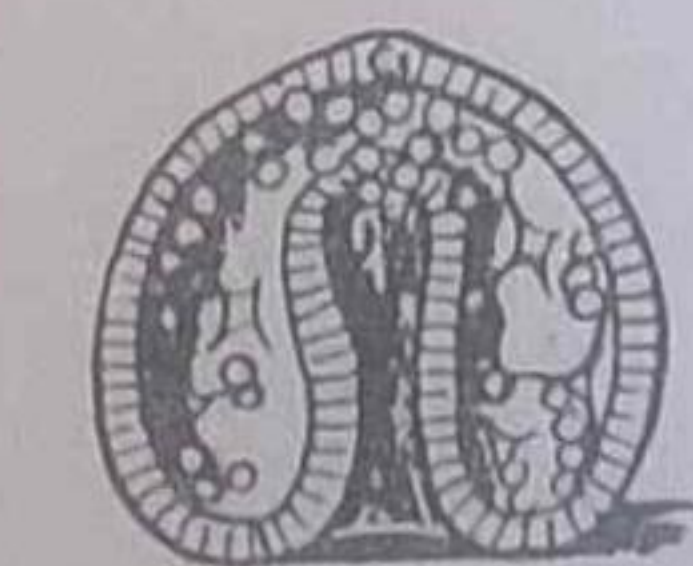
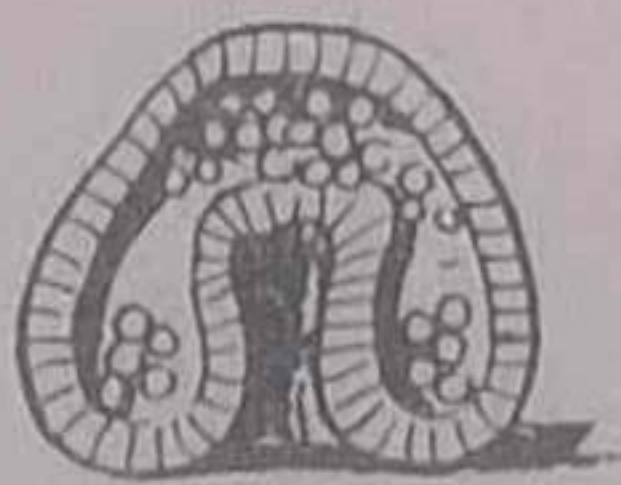
Il risultato finale è la formazione di un corpo di forma sferica il quale ha, più o meno, lo stesso volume che aveva l'uovo all'inizio della segmentazione; esso è costituito da un certo numero di cellule dello stesso diametro, tangenti tra loro due a

due, in mezzo alle quali vi è una cavità tanto più ampia quanto maggiore è il numero delle cellule che la circondano.

Come si vede, l'insieme ha l'aspetto di una mora, uno di quei piccoli frutti che sanno di campagna e di sole; niente di strano, quindi, che a questo stadio, l'uovo segmentato prenda il nome di *morula*: non sa nè di campagna nè di sole ma ne suscita in me l'acuta nostalgia.

Dalla poesia alla prosa: la gastrula

Ma questo stadio di morula è soltanto transitorio; non dimenticate che abbiamo a che fare con cellule che hanno tutte gran fretta di riprodursi, con cellule che corrono velocemente verso il loro ultimo destino.

Dunque la morula ben presto cambia aspetto; prima di tutto, nella cavità centrale va accumulandosi una certa quantità di liquido proveniente dalle varie cellule; questo liquido, esercitando una pressione sulla faccia interna delle cellule, tende ad appianarla; contemporaneamente, ogni cellula, compressa tra le altre, tende ad assumere, più o meno, la forma di un prisma esagonale; a questo stadio si dà il nome di *blastula*, nome che, naturalmente, non suscita in me nessuna acuta nostalgia.

BLASTULA GASTRULA

Ecco dunque, dinanzi a noi, una vescichetta ben gonfia, la cui parete interna è fatta di un solo strato di cellule. Ed ora segue un fenomeno singolare: una metà della blastula va insaccandosi dentro l'altra metà; e si insacca sempre più finchè eccola trasformata in una specie di coppa a doppia parete che ha ricevuto il nome di *gastrula*, data la sua rassomiglianza a un piccolo stomaco. Scusatemi, ma non è colpa mia se — almeno nella

nomenclatura — siamo passati dalla poesia alla prosa; da un profumo di sole a una forma di stomaco.

Questa specie di stomaco si apre verso l'esterno per mezzo di una bocca, di cui non vi dico il nome altrimenti non la finiremo mai più.

In definitiva quindi ecco che cosa è la gastrula: una cavità, che si apre verso l'esterno, delimitata da una parete, per così dire, doppia: essa infatti è formata da due foglietti: uno esterno e uno interno. Quindi quella che era la cavità della blastula non esiste più; essa è sparita tra il foglietto esterno e il foglietto interno.

FOGLIETTI DELLA GASTRULA

Tutte queste trasformazioni sono i primi stati attraversati da voi e da altri esseri viventi; è trascorso soltanto qualche giorno e già l'uovo si è trasformato in morula e poi in blastula e poi in gastrula. Intanto le cellule continuano a riprodursi: l'embrione continua le sue trasformazioni.

Parliamo un po' di noi

E un terzo foglietto viene a inserirsi tra il foglietto esterno e quello interno. Ebbene, ecco una cosa interessantissima: tutti i tessuti definitivi, che formeranno poi i vari organi del futuro organismo completo, derivano da questi foglietti dell'embrione.

Le responsabilità sono ben divise e precisamente: il foglietto esterno darà il materiale per la formazione dell'epidermide con i suoi derivati (ghiandole della pelle, unghie, peli...), delle parti essenziali del sistema nervoso e degli organi di senso...; dal foglietto interno deriveranno il tubo digerente, il fegato, il pancreas...; dal foglietto medio, infine, si formeranno la massima parte del tessuto muscolare, lo scheletro, il sangue, i reni... Parlando molto grossolanamente, si può dire che il foglietto interno

produce l'apparato nutritivo, il foglietto medio produce l'apparato di sostenimento e il foglietto esterno l'apparato nervoso.

E poco per volta le varie cellule vanno differenziandosi e questi vari apparati vanno formandosi; l'embrione va acquistando i primi rudimentali lineamenti: un piccolo mostro. Ma il tempo passa e le trasformazioni continuano: ecco infine l'essere completo. Esso però non ha ancora finito di modificarsi; molte modificazioni si succederanno durante tutta la sua esistenza, fino alla sua morte.

E poichè sono sicuro che, egocentricamente, l'uomo vi interessa un po' più degli altri animali, vi darò qualche dato sul suo accrescimento. Perchè la cellula uovo si trasformi in un bimbo pronto a nascere, è necessario un periodo di tempo di nove mesi; in questi nove mesi si susseguono circa quaranta scissioni cellulari e il peso dell'uovo, che era di due o tre centesimi di milligrammo, diventa di circa cento milioni di volte maggiore. Le successive scissioni cellulari però non avvengono con ritmo costante: durante i primi quindici giorni se ne effettuano, in media, circa una o due al giorno; ma ben presto questa frequenza va diminuendo e durante i rimanenti otto mesi e mezzo non avvengono che una trentina di divisioni: circa una alla settimana. La grande fretta iniziale di suddivisione va ben presto placandosi.

Corrispondentemente l'uovo che durante i primi quindici giorni è aumentato cinquanta volte di volume, aumenta soltanto tre volte di volume durante la seconda quindicina e raddoppia semplicemente durante il secondo mese. Nei sette mesi che seguono, l'accrescimento continua progressivamente a diminuire.

Secondo alcuni biologi questa diminuzione del potere di accrescimento è dovuta a un vero e proprio invecchiamento delle cellule. Prima di nascere abbiamo già cominciato a invecchiare...

Strane manovre su due poveri, giovanissimi embrioni

Ma non indulgiamo troppo a questo punto di vista egocentrico e torniamo a osservare imparzialmente i vari esseri viventi.

Dunque al suo inizio un essere vivente non è che un am-

masso di cellule, tutte eguali: passa il tempo (non molto, come abbiamo visto) e queste cellule cominciano a differenziarsi: ed ecco (a seconda della regione nella quale si trovano) cellule diversissime tra loro sia per la forma che per la funzione; cellule nervose, cellule muscolari, cellule epiteliali, cellule del sangue...; cellule filiformi, appiattite, cubiche, rotonde... E allora è logico porsi la domanda: quelle cellule dell'ammasso originario erano *realmente* tutte eguali o quella eguaglianza era soltanto apparente? In altre parole, quella cellula che, continuando a suddividersi, darà luogo a filiformi cellule nervose, ha già in sè questa possibilità, oppure essa è veramente identica a quell'altra che darà poi luogo a fusiformi cellule muscolari e soltanto a un certo momento, per una qualche ragione, essa inizia la propria differenziazione?

Questo problema ha affaticato molto le menti dei biologi di questo ultimo trentennio; e soltanto esperienze pazienti e delicate hanno permesso di dare una risposta a questo importante quesito.

Nel 1916 il signor Spemann cominciò a fare strane cose: egli prese due embrioni giovanissimi di tritone (una specie di salamandra acquatica) tanto giovani che le loro cellule avevano ancora tutte un aspetto molto simile; era però già possibile distinguere quali di esse avrebbero dato luogo ai diversi tessuti, per esempio quali avrebbero dato luogo a pelle e quali a tessuto nervoso. Ebbene, egli tolse a uno degli embrioni qualcuna delle cellule destinate a produrre la futura pelle e le trapiantò nell'altro embrione nella regione del futuro tessuto nervoso; e viceversa prese dal secondo embrione qualche cellula del futuro tessuto nervoso e le trapiantò nella regione della futura pelle del primo embrione. E aspettò osservando. Gli embrioni continuarono a svilupparsi finchè il nostro attento osservatore si trovò dinanzi due normali embrioni di tritoni: lo scambio non aveva avuto nessuna conseguenza. Le cellule trapiantate avevano seguito il destino della regione in cui erano state poste: le future cellule di pelle erano diventate cellule nervose e le future cellule nervose erano diventate cellule di pelle. Evidentemente quindi esse, al momento in cui era avvenuto il trapianto, erano realmente tutte eguali tra loro; il loro destino non era ancora segnato; esso era mutato col mutare della loro posizione.

A questo stadio, quindi, le cellule sono non soltanto in apparenza, ma *realmente* eguali: da ciascuna di esse può derivare un qualsiasi tessuto; ne deriverà poi un tessuto particolare soltanto a causa della loro particolare posizione nell'embrione. Il loro avvenire non risiede in loro ma dipende dalla loro posizione.

L'organizzatore

Ma il signor Spemann continua le sue strane manovre sempre — ahimè — sugli infelici embrioni di tritoni; direte che ne approfittava perchè erano piccoli piccoli...: ma bisogna bene che qualcuno si sacrifichi per il bene della scienza, non vi pare?

Dunque, eccolo di nuovo dinanzi a due embrioni di tritone; questa volta però ha scelto due embrioni non più giovanissimi: essi infatti hanno già raggiunto lo stadio di gastrula. E, sempre con molta delicatezza, esegue lo stesso trapianto che aveva eseguito prima: mette qualche cellula della futura pelle del primo embrione nella regione del futuro tessuto nervoso del secondo embrione e viceversa. E aspetta... Gli embrioni continuano a svilupparsi, finchè ecco lo strano risultato: nella pelle del primo embrione c'è una piccola regione di tessuto nervoso e nel tessuto nervoso del secondo embrione c'è una piccola regione di pelle.

Invano il signor Spemann ha ora spostato quelle cellule: esse, nella loro nuova posizione, continuano a produrre ciò che avrebbero prodotto se egli le avesse lasciate tranquillamente al loro posto. Evidentemente, quando sono giunte a questo stadio, le cellule hanno già il loro destino segnato; esse sono ancora simili, ma, per una qualche modificazione intima avvenuta in esse, il loro avvenire è ormai fissato.

Esiste quindi un momento, nella vita delle cellule di un embrione, in cui queste cellule, che fino allora erano assolutamente eguali, pronte a un destino che dipendeva soltanto dalla loro posizione, si differenziano; da questo momento in poi il loro destino è segnato e non può più essere mutato. Questa deter-

minazione non avviene sempre, nelle varie specie, allo stesso momento della vita embrionale; nel tritone, per esempio, avviene più tardi che nella rana.

Da che cosa è prodotta questa determinazione irrevocabile che conduce alla differenziazione delle cellule? È questa una semplice e naturalissima domanda, per rispondere alla quale però scienziati e scienziati hanno impiegato anni di paziente lavoro e di mirabili delicatissime esperienze.

La differenziazione è progressiva; mi spiego: non accade che a un certo istante *tutte* le cellule dell'embrione, che fino allora erano realmente identiche, comincino ad avviarsi ai loro diversi destini, pur rimanendo per qualche tempo ancora apparentemente identiche. No; questa differenziazione comincia ad avvenire in un ben determinato punto dell'embrione, punto che è sempre lo stesso per ogni specie, ma diverso da specie a specie; le cellule di quella regione sono differenziate quando ancora le cellule della rimanente parte dell'embrione sono realmente identiche e quindi soggette a cambiare destino se, con opportuni trapianti, si muta la loro posizione. Da questo punto, la proprietà di differenziarsi si propaga gradualmente a tutte le altre cellule embrionali.

Nell'embrione quindi esiste un punto privilegiato, un centro dominante il quale impone il destino alle altre parti dell'embrione; a questo centro dominante è stato dato il nome di « organizzatore ».

Se si stacca l'organizzatore da una giovane gastrula di tritone e lo si trapianta nella regione ventrale di un'altra giovane gastrula di tritone, si osserva una cosa stranissima: il secondo embrione si sviluppa, ma mentre questo sviluppo si svolge normalmente nella parte dorsale, nella parte ventrale, là dove era stato trapiantato l'altro organizzatore, viene sviluppandosi un nuovo embrione di tritone: la presenza dell'organizzatore trapiantato ha cambiato il destino delle cellule della zona ventrale del secondo embrione.

Non vi sembra meravigliosa questa esperienza? E se in un giovane embrione di tritone si stacca l'organizzatore e lo si riattacca invertito, avremo poi un animale in cui gli organi si trovano tutti in posizione inversa a quella normale. E se stacchiamo

l'organizzatore e lo trapiantiamo poi in un altro punto dell'embrione avremo un animale i cui organi si trovano in posizione anormale...

SVILUPPO DI UN EMBRIONE DOPPIO DI TRITONE

EMBRIONE TRAPIANTATO

Staccando e trapiantando l'organizzatore potete costruirvi un essere vivente (sia pure un tritone o una rana) fatto a vostro piacimento; non vi sentite un po' terrorizzati per questo nuovo, strano potere?

E ora, naturalmente, mi chiederete: come fa l'organizzatore a provocare la differenziazione delle varie cellule? Quale è questa strana influenza che emana dall'organizzatore?

Penso che vi piacerebbe ricevere una risposta chiara e precisa; piacerebbe a voi riceverla e piacerebbe a me potervela dare. Invece, purtroppo, devo negare a voi e a me questa soddisfazione. È questo uno dei problemi più oscuri della biologia, intorno al quale si sono affannati e si affannano scienziati, immersi in studi, esperienze e dibattiti.

Già da molti anni si è sospettato che l'azione esplicata dagli organizzatori sia di natura chimica; ma, in coscienza, non posso, con sicurezza, dirvene di più. Ecco perchè alla vostra domanda: « come fa l'organizzatore a organizzare? » devo rispondere: « non so ».

Molto spesso gli scienziati devono rispondere: « non so ». E quando, dopo studi e ricerche, riescono a trovare una risposta a qualcuna di queste domande fino allora rimaste insolute, ecco dinanzi a loro altri quesiti a cui devono di nuovo rispondere « non so ». E di nuovo al lavoro; sono esploratori che proce-

dono lentamente su un terreno sconosciuto, scoprendo dall'alto un lago di cui non sospettavano la presenza, o una foresta che è a sua volta piena di imprevisti e molto, molto spesso giungendo, dopo avventure e pericoli, in un luogo senza uscita; e tornano di nuovo al punto di partenza e, ancora pieni di entusiasmo, si incamminano in una nuova direzione... Non conoscono la rinunzia: chi muore lascia a un altro il suo lavoro e le sue speranze; e la fiaccola dell'entusiasmo passa, viva e brillante, di mano in mano.

Ma torniamo ora al nostro embrione che, con le sue cellule variamente differenziate, non è che un mosaico di parti indipendenti; fino ad ora lo sviluppo è stato soltanto una crescita passiva; ma ora i vari organi cominciano a lavorare e con il lavoro le varie parti del mosaico perdono la loro indipendenza; si inizia la loro cooperazione. Ciò che fino ad ora non era che un mosaico diventa una unità: tutte le parti vengono unite da un flusso di sangue e da una complessa ramificazione di nervi; tutto cade sotto l'alto governo del cervello. Ogni parte lavora ora per il benessere di tutto l'individuo.

Un intestino che si aggroviglia

E questo individuo cresce, cresce...; questa crescita però, molto attiva all'inizio dello sviluppo, finisce sempre per rallentare e spesso, a partire da una certa età, cessa completamente: l'individuo ha raggiunto le sue massime dimensioni. Non troverete mai un uomo grande come un elefante nè un gatto grande come un cavallo.

Ora, la domanda imbarazzante che voi potete pormi non è: « perchè l'individuo cresce? » ma piuttosto: « perchè l'individuo cessa di crescere? ». Se stacchiamo una cellula da un organismo vivente e, con opportuni accorgimenti di cui tutti i biologi sono ben pratici, la facciamo vivere isolata, essa continua a proliferare; e non soltanto questa proliferazione è molto più attiva che se la cellula fosse rimasta al suo posto, ma essa non

manifesta, anche dopo molti anni, nessuna tendenza a rallentare. Perciò se le diverse cellule di un organismo non si moltiplicano indefinitamente e in modo disordinato, questo avviene soltanto per l'influenza del resto dell'organismo e non perchè esse seguano un destino imposto loro dalla loro stessa natura.

Di che tipo è, allora, questa influenza? Quale è la ragione dell'arresto della crescita di un organismo?

Veramente le ragioni sono diverse e non tutte sono ben note. Una di queste è molto prosaica e risiede... nell'intestino. Quasi tutti gli animali, per nutrirsi, introducono nel proprio corpo gli alimenti che vengono poi assorbiti attraverso la parete dell'intestino; questo alimento è destinato a tutta la massa del corpo. Se questa massa raddoppiasse, l'alimento assorbito non basterebbe più a nutrirla tutta, malgrado che l'intestino abbia anche esso raddoppiato la sua lunghezza (e questo perchè la massa del corpo è un volume e la parete dell'intestino è una superficie [1]). Ecco, per esempio, un lombrico, un animale piuttosto piccolo con un semplice intestino diritto: non troverete mai un lombrico grande come un cane perchè, in questo caso, il suo intestino sarebbe troppo piccolo per nutrire il suo corpo; un lombrico non può superare una certa dimensione, raggiunta la quale esso cessa di crescere. Il cane invece è così grande perchè madre natura ha provveduto ad allungare il suo intestino in modo da permettergli di assorbire tutto l'alimento di cui ha bisogno. E vi ha provveduto avvolgendo l'intestino nel suo corpo, producendo, nella parte interna dell'intestino, varie prominenze (villi intestinali) che sono particolarmente adatte ad assorbire il contenuto intestinale.

Naturalmente, dato il modo particolare con cui è costruito l'intestino di un cane, esso non può superare una certa dimensione che rappresenta il limite massimo della sua crescita. Non vi capiterà mai (tranne che nelle fiabe) di incontrare un cane grande come un elefante.

[1]) È una questione di geometria (ahi!): se raddoppio il raggio di una sfera, il suo volume cresce di otto volte mentre la sua superficie diventa soltanto quattro volte più grande: perchè il volume di una sfera è proporzionale al cubo del suo raggio mentre la sua superficie è proporzionale al quadrato del raggio. (Siete costretti a perdonarmi perchè, come vedete, ho scritto tutto ciò piccolo piccolo).

E considerazioni di questo genere possono essere fatte non soltanto per l'intestino, ma anche per altri organi; in particolare il sistema nervoso cresce molto meno velocemente del resto del corpo.

Ma lasciamo ora questo argomento un po'... viscido di intestini che si aggrovigliano. Ecco dinanzi a noi un organismo completo: ecco l'individuo adulto, ecco, cioè, un animale che ha cessato di crescere.

In esso accadono tante cose meravigliose e strane... Vogliamo vedere quali? Ebbene, voltiamo pagina e leggiamo...

TAVOLA XX

Sopra: due piccoli di struzzo emergono dall'uovo (*Keistone*). Sotto: un pulcino, testè nato, guarda con sorpresa un suo simile che giusto esce dal guscio (*Atlantic Foto, Berlino*).

LA VITA ADULTA

Una promessa di generosità

Ho deciso oggi di essere generoso. Figuratevi che, giunto a questo punto, dovrei dirvi che negli animali le cellule appartengono a quattro categorie principali o tessuti (tessuto muscolare, tessuto nervoso, tessuto epiteliale, tessuto connettivo), che nelle piante invece esistono tre tessuti, molto differenti da quelli animali (meristema, parenchima e sclerenchima) e dovrei soffermarmi su ognuno di questi tessuti; dovrei parlarvi della composizione chimica degli organismi viventi e dei processi chimici che in essi si svolgono; dovrei soffermarmi sul consumo, sulla trasformazione e sulla produzione di energia di un organismo animale. Onestamente non dovrei sorvolare su tutto ciò. Ma ho deciso di essere generoso e perciò fingo che ricordiate tutte queste cose che dovreste avere imparato — cioè, scusate, — che certamente avete imparato su quei banchi di scuola, un po' duri nella realtà ma tanto dolci nel ricordo.

Dunque sorvolo... Ma non rallegratevi troppo: ancora non

ho deciso di scrivere la parola « fine ». Mi illudo di potervi raccontare ancora qualche cosa di divertente; avrete forse tra breve l'impressione che io salti di palo in frasca, ma vi prometto che sceglierò pali e frasche molto interessanti.

Uno per tutti e tutti per uno

E ora, lieto della vostra indubbia riconoscenza, eccomi di nuovo chino a guardare, con voi, un organismo vivente giunto al suo stadio adulto; un organismo vivente qualsiasi, animale o pianta, piccolo o grande, molto semplice o terribilmente complesso. Esso è costituito da tanti elementi che possono essere anche molto diversi l'uno dall'altro; questi elementi però sono reciprocamente collegati.

Prima di tutto ogni cellula, di solito, comunica direttamente con le cellule contigue in modo che dall'una all'altra possono passare granuletti e liquido.

Inoltre in tutto l'organismo circolano liquidi che portano sostanze da una parte all'altra; per esempio nel corpo degli animali scorre il sangue, nelle piante la cosiddetta linfa. Da questi liquidi le cellule prendono le sostanze necessarie sia al loro accrescimento sia alla funzione che devono esplicare; e in questi liquidi esse versano le sostanze di rifiuto.

Infine ecco, negli animali, il terzo tipo di collegamento: il sistema nervoso.

Grazie a questi collegamenti l'organismo vivente è un insieme armonicamente funzionante: gruppi di cellule si sviluppano o agiscono concordemente e tra le parti anche lontane si stabiliscono continue relazioni di dipendenza nella crescita, nei movimenti, nella produzione di secrezioni, eccetera.

Ogni parte lavora così per se stessa e per il benessere dell'intero organismo. È possibile che non vi sia ancora venuto in mente il vecchio apologo del saggio Menenio Agrippa?

Gli ormoni

Le glandole endocrine

Ed eccoci ora al primo palo. Ho detto: « ...in tutto l'organismo circolano liquidi che portano sostanze da una parte all'altra; nel corpo degli animali scorre il sangue... ».

Questo rosso sangue, che è il simbolo stesso della vita, col suo continuo fluire non soltanto porta a tutte le cellule le sostanze nutritizie, non soltanto funziona anche come trasportatore dell'ossigeno dagli organi della respirazione ai tessuti e dell'anidride carbonica (rifiuto dell'ossidazione) dai tessuti agli organi respiratori, ma ha ancora un importantissimo compito grazie alla sua proprietà di raggiungere tutte le parti dell'organismo.

Esistono nel corpo particolari organi, che prendono il nome di *glandole*, le quali secernono sostanze diverse. Alcune di queste glandole versano il loro prodotto all'esterno del corpo, come le glandole sebacee, che producono il sudore, e le mammarie, che producono il latte. Altre invece sono « glandole a secrezione in-

terna » o *endocrine;* esse versano il loro prodotto direttamente nel sangue.

Ebbene, è a queste glandole endocrine che vi invito a rivolgere la vostra attenzione. Sono organi piccini ma alcuni di essi sono ben più importanti di tanti altri di ben più vasta mole. A un cane o a un gatto... o anche a un uomo potete togliere tante cose: potete togliergli (naturalmente con le dovute precauzioni) un polmone o un rene, lo stomaco, lunghi pezzi di intestino, la milza o estese parti del cervello; bene o male il cane, il gatto o l'uomo continua a vivere. Ma se voi (anche con le massime precauzioni) gli togliete qualche piccola glandoletta che si trova nella regione anteriore del collo — una cosa da nulla, soltanto circa venticinque grammi di sostanza — gradualmente vedrete deperire quel povero cane o quel povero uomo e in breve assisterete impotenti alla sua morte. No, sbaglio: non impotenti; qualche cosa potete fare, purchè vi affrettiate: prendete da un altro individuo un po' di sostanza prodotta da quelle stesse glandolette, iniettatela in quel povero corpo deperito e lo vedrete rifiorire.

L'organismo del cane o dell'uomo... non può fare a meno della poca sostanza che quelle glandolette producono e versano nel sangue.

Una messaggera per i momenti di emergenza

Queste sostanze versate nel sangue dalle glandole endocrine si chiamano *ormoni*. Il sangue li trascina con sè nel suo rapido corso; li trascina fino agli organi più lontani. E sui vari organi gli ormoni esplicano la loro azione stimolante (o inibitrice), azione che è di natura chimica.

Volete un esempio di come agisce, nel nostro corpo, uno di questi « messaggeri chimici »? Subito vi accontento.

Come sapete, il pancreas è un organo il quale versa direttamente un succo digestivo in quella prima parte dell'intestino medio che prende il nome di duodeno; esso però interrompe

questa sua funzione quando in questa parte dell'intestino non c'è cibo da digerire; ma non appena il chimo, proveniente dallo stomaco, entra nel duodeno, ecco che il pancreas entra in funzione. Come fa il pancreas a sapere quando è necessaria la sua opera? Da che cosa è avvertito? Proprio da uno di quei messaggeri chimici di cui parlavamo poco fa. Esistono nel duodeno alcune glandole che, eccitate — per così dire — dalla presenza del chimo, versano nel sangue una particolare sostanza detta *secretina*. Questo ormone viene trascinato dal sangue in tutto il corpo; molti organi non se ne occupano affatto, il pancreas invece si dimostra sensibilissimo: non appena viene raggiunto dalla secretina, si mette in funzione e assolve puntualmente il suo compito di versare nel duodeno il suo succo digestivo. Il cibo continua il suo cammino, il duodeno si vuota, le ghiandole sospendono la loro produzione di secretina, il pancreas, non più sollecitato dal messaggero, si mette in riposo. E poi il ciclo riprende, e poi si interrompe... con una regolarità degna del più perfetto dei servizi.

Quando si deve radiotrasmettere un messaggio a una nave, lo si fa precedere dal nominativo della nave. Il messaggio viene ricevuto da tutte le navi; ma esse non se ne occupano. Esso interessa soltanto quella nave che ha quel determinato nominativo. Le ghiandole del duodeno lanciano nel sangue un messaggio indirizzato al pancreas e che soltanto il pancreas riceve.

Ed eccovi subito un altro esempio di messaggeri chimici, esempio che è però — scusatemi — un po' terrorizzante. Mi auguro che non abbiate mai visto un uomo che fugga incalzato da un nemico; ne avrete però letta la descrizione se non altro in qualche affascinante libro giallo. L'eroe fugge per strade solitarie; fugge disperatamente ma l'assassino gli è ormai alle spalle: ne sente i passi precipitosi, ne ode il rauco respiro affannoso, indovina nelle sue mani il pugnale brandito... e fugge con tutta la forza della disperazione: il suo cuore batte veloce, il sudore scorre a rivoli lungo il suo corpo, ha i capelli ritti sul capo e gli occhi quasi fuori dalle orbite... Non temete; egli è il protagonista e certamente non morrà: che cosa ci racconterebbe allora l'autore nelle rimanenti cento pagine del libro? Qualcosa o qualcuno — molto probabilmente una bella fanciulla — lo salverà. Ma dite-

mi: perchè, sotto il terribile incalzare della paura, il suo aspetto è così trasformato? Che cosa fa drizzare i suoi capelli? Come è possibile che egli possa correre così velocemente?

Il merito di tutto ciò va a due piccole ghiandolette, ognuna delle quali pesa non più di tre grammi, che si trovano di fronte ai reni, da una parte e dall'altra della colonna vertebrale; non appena l'eroe si trova in pericolo, non appena egli capisce che la sua vita dipende dallo sforzo fisico che può compiere, queste due ghiandolette ricevono un messaggio nervoso che provoca il loro immediato funzionamento: esse versano prontamente nel flusso sanguigno la loro secrezione, un ormone che si chiama *adrenalina*. Ed ecco che questa sostanza, portata in tutto il corpo, produce sui vari organi effetti diversi, tutti però concordemente indirizzati a un unico scopo: la salvezza del loro proprietario. I battiti del cuore si accelerano e i capillari si dilatano, in modo che la circolazione diventa più rapida e più efficiente; le sue glandole sudoripare cominciano a funzionare abbondantemente perchè il suo corpo possa essere ben rinfrescato; i suoi organi digestivi rallentano il loro funzionamento e le sue vene si contraggono in modo che i suoi muscoli possano ricevere una maggior quantità di nutrimento; i suoi capelli si drizzano e gli occhi si dilatano, così che egli è spaventoso a vedersi... Tutti gli organi sono mobilitati per la salvezza; per questa mobilitazione, il cervello ha inviato in giro un suo rapido messaggero: l'adrenalina.

Il gigante e la donna cannone del circo

Ma non tutte le glandole a secrezione interna funzionano a intermittenza, cioè soltanto in momenti particolari. La maggior parte di esse producono la loro secrezione con continuità.

Ecco, alla base del cervello, la glandola *pituitaria*, formata da due parti distinte, ognuna delle quali produce la sua propria secrezione ed esercita la sua funzione sul lavoro del corpo. Una parte influisce specialmente sullo sviluppo e sulla crescita: se

essa funziona troppo attivamente e se ciò accade prima che le ossa abbiano finito di crescere, ecco uno di quei giganti dall'espressione rozza e opaca, che guadagnano la loro vita nelle fiere e nei circhi; se essa, invece, non funziona abbastanza, ecco un uomo che, per quanto di proporzioni perfette, è più piccolo del normale e presenta tutti i caratteri dell'infantilismo.

Anche la donna cannone di questo stesso circo deve il suo aspetto a un anormale funzionamento della sua glandola pituitaria; ma in essa è un'altra parte di questo piccolo organo che non funziona abbastanza attivamente.

La natura ha saputo, in un caso, trarre profitto dagli effetti combinati dell'anormale funzionamento della pituitaria e di un'altra glandola molto interessante che si trova nel collo, la *tiroide*. Quando un riccio — o un altro qualsiasi di quei piccoli mammiferi che usano, molto saggiamente, trascorrere l'inverno in letargo — si avvicina al suo lungo sonno, la sua tiroide e la sua pituitaria rallentano il loro funzionamento: l'animale ingrassa diventando pigro e sonnolento, la sua temperatura diminuisce e finalmente esso soggiace al provvidenziale sonno. Siete tanto crudeli da volerlo svegliare? Protesto in suo nome ma vi dico come potete farlo: fategli una sola iniezione dell'ormone della tiroide ed esso, anche in pieno inverno, si sveglierà.

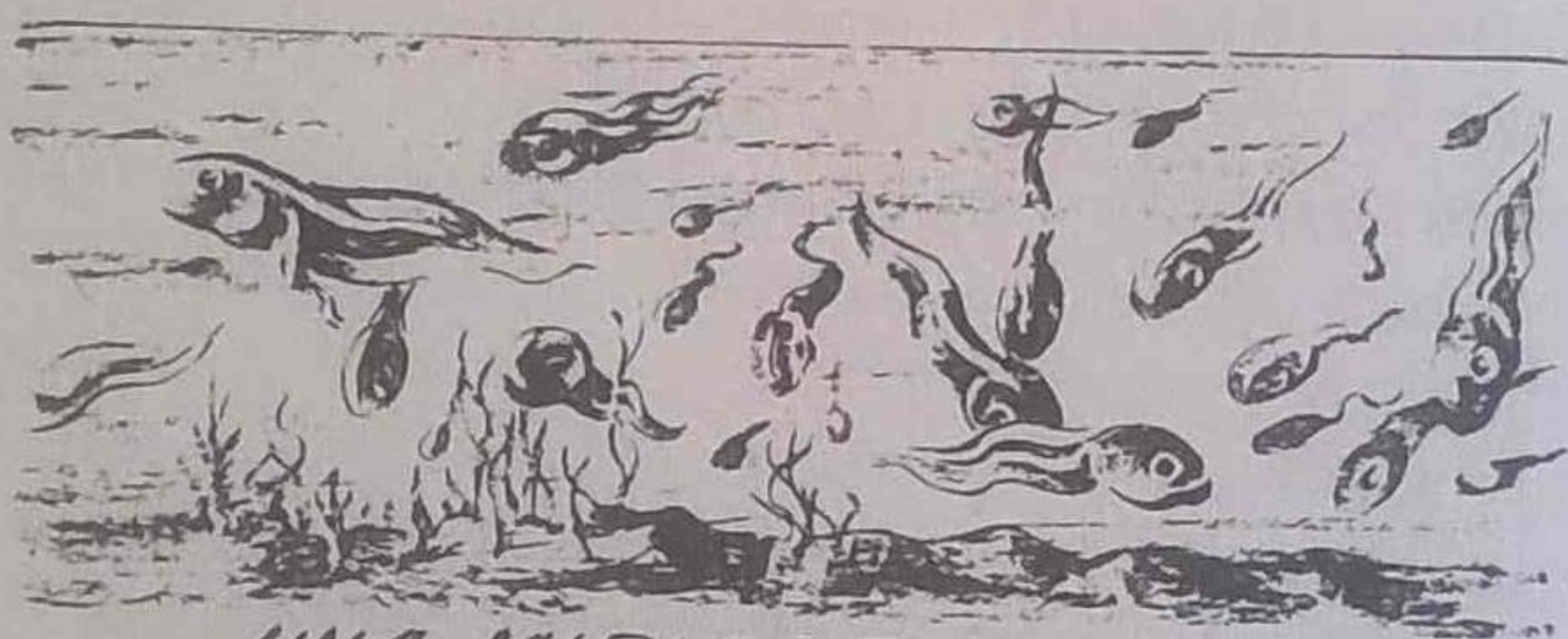
Ed ora svegliatelo pure, ma io protesto.

Rane piccole come mosche e girini giganti

Ancora quattro chiacchiere, se me lo permettete, su alcuni strani effetti dell'ormone di quella piccola ghiandoletta che si trova nel collo e che vi ho detto si chiama *tiroide*. Non meravigliatevi però se comincio un po' alla lontana.

Non sempre lo sviluppo di un individuo è così — come dire? — lineare come quello che abbiamo seguito nel capitolo precedente; non sempre, cioè, dall'uovo si sviluppa un individuo che poi gradatamente va sviluppandosi fino a raggiungere lo

stato adulto. In taluni animali lo sviluppo si complica per mezzo della metamorfosi: cioè dall'uovo esce un individuo, che prende il nome di « larva », che è molto diverso da quello che sarà l'individuo definitivo; a un certo momento poi la larva si trasforma nell'adulto.

Chi di voi non ha sorriso divertito osservando in una pozza d'acqua una miriade di girini che scodinzolano indaffaratissimi di qua e di là? Quei cosini, poco più grandi di una virgola, riempiono di vita la piccola pozza. Tutti voi avete

...UNA MIRIADE DI GIRINI...

sorriso divertiti, ma ben pochi, scommetto, si sono soffermati a pensare a quella metamorfosi — che veramente ha del meraviglioso — la quale ogni anno trasforma decine di migliaia di girini in altrettante piccole rane, che abbandonano la vita acquatica per darsi a una vita terrestre.

Questo passaggio dall'elemento acqua all'elemento aria comporta una vera rivoluzione di tutta la struttura e di tutto il funzionamento dell'organismo: le branchie e la coda spariscono, l'intestino, il cervello e la pelle vengono completamente rimodellati e i polmoni e gli arti, che erano venuti crescendo piano piano, raggiungono il loro completo sviluppo. Per merito di chi queste trasformazioni si svolgono con un sincronismo così perfetto?

Soltanto nel 1911 fu scoperto questo « qualcuno » tanto meritorio: questo « qualcuno » è quella famosa glandola a secrezione interna che si trova nel collo. La metamorfosi del girino è dovuta principalmente all'ormone della tiroide che circola nel suo sangue e che influenza tutti gli organi del suo corpo. Prendete un girino piccolo piccolo, un girino che, se fosse lasciato tranquillamente alla sua vita naturale, avrebbe ancora parecchio

tempo da scodinzolare di qua e di là prima di trasformarsi in rana; iniettategli un po' di ormone tiroideo e vedrete che subito si inizia la sua metamorfosi; potrete così ottenere rane non più grandi di una mosca. Viceversa, togliete a un girino la sua tiroide e vedrete che esso continua la sua vita di girino ben più a lungo che se fosse stato lasciato in pace con la sua tiroide là dove madre natura l'aveva posta; otterrete un girino di dimensioni mai viste, un girino che morrà tale senza subire alcuna metamorfosi.

Ecco che cosa si può fare con pochi milligrammi di ormoni.

Barba e corna

Innumerevoli sono gli effetti delle varie glandole endocrine sugli organismi viventi. La barba che a una certa età comincia a spuntare sul viso di un uomo... maschio, è prodotta per gli stimoli ormonici di una particolare glandola (*glandola sessuale*) la quale proprio a quell'età raggiunge la maturità.

Ai cervi maschi ogni anno cadono le corna e a primavera, cioè all'epoca della riproduzione, spuntano di nuovo; le femmine ne sono sempre prive. Non vi sembrano strane queste corna che continuamente cadono e immancabilmente rispuntano? Ebbene queste corna sono analoghe a quella barba di cui parlavamo poco fa; togliete a un cervo maschio le glandole sessuali ed esso rimarrà permanentemente senza corna; ma se a un certo momento siete presi da pietà per questo povero cervo... scornato e gli innestate una glandola sessuale tolta a un altro cervo, vedrete con gioia spuntare di nuovo le corna.

Ma perchè esse, in un individuo normale, rinascono proprio a primavera? Perchè proprio in questa stagione la ghiandola sessuale entra in maggiore attività.

Ma ora penso che, tra girini e rane, barba e corna, abbiamo sostato abbastanza su questo strano palo che si chiama « ormoni ». Vogliamo ora saltare sulla prossima frasca? Allora attenzione e via...: oplà!...

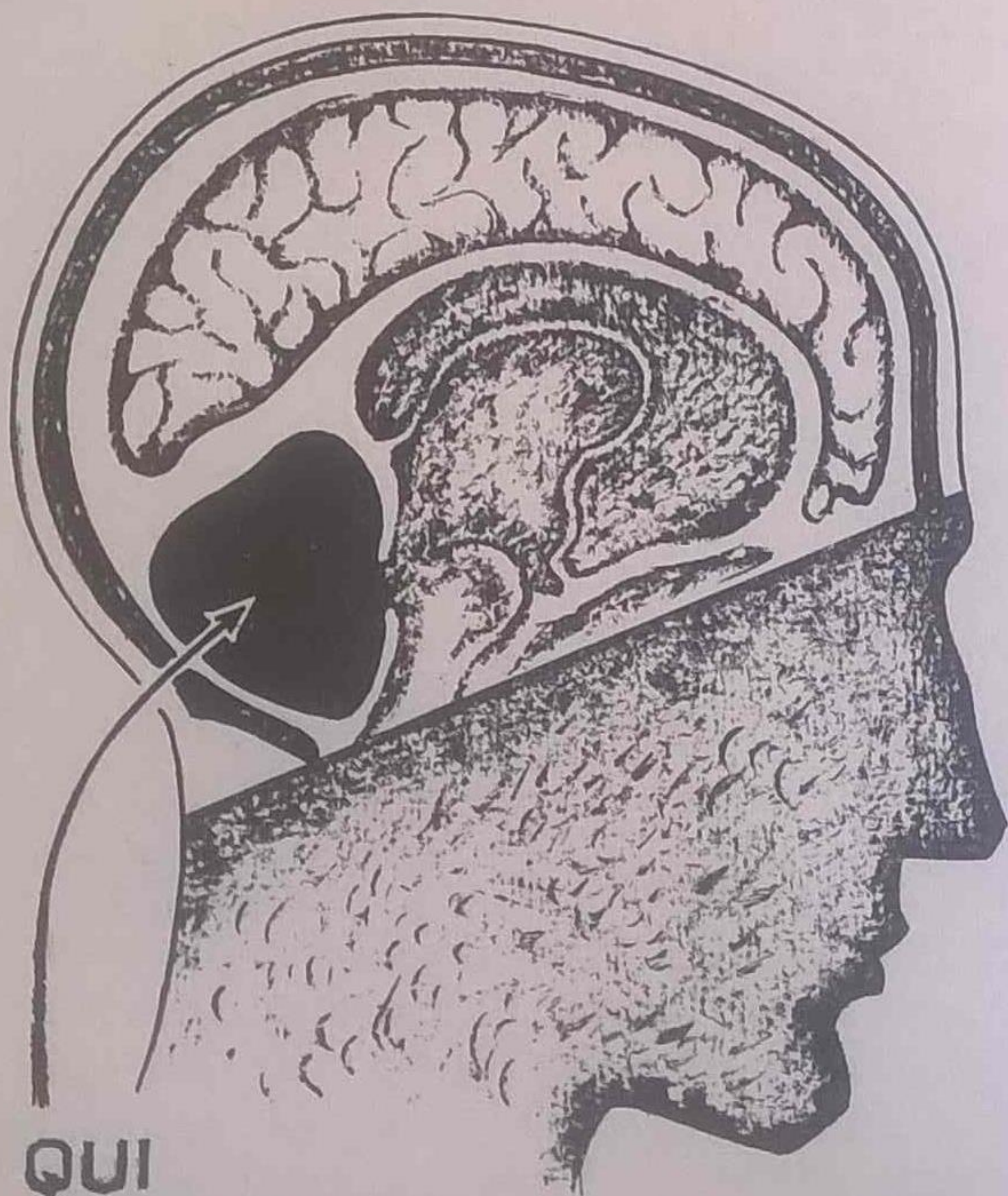
Il cervello

Un segretario sensibile all'alcool

Cerchiamo di appollaiarci il più comodamente possibile e guardiamoci intorno. Naturalmente vi piacerebbe che questa fresca frasca fosse l'insegna di una pittoresca osteria di campagna (che so io? « Al cervo bianco » o « All'orso bruno »); ma come è possibile che io, che sono una persona quasi seria e che sto scrivendo un libro quasi serio, vi porti in simili luoghi di perdizione?

Non più glandole, non più ormoni. Ecco ora dinanzi a noi ciò che per ogni essere umano è la sostanza più importante dell'universo: ecco dinanzi a noi il *cervello,* sede dei nostri sogni e dei nostri desideri, delle nostre gioie e dei nostri dolori, veicolo della nostra immaginazione.

Dietro al cervello e sotto di esso ecco una curiosa parte del cervello, il cervelletto. Questo diminutivo però non deve trarvi in inganno e non deve farvi sottovalutare la sua importanza; poichè esso è indispensabile al cervello come un segre-

tario privato è indispensabile a qualsiasi uomo che occupi una posizione di comando; e, come ogni ottimo segretario privato, il cervelletto è attento, premuroso, instancabile e compie il suo lavoro a nostra completa insaputa. Esso sorveglia gli ordini emanati dal cervello, li rifinisce e li completa; provvede a tutte quelle piccole cose che sono necessarie perchè questi ordini siano bene eseguiti.

QUI
SI TROVA IL CERVELLETTO

Nel turbinio di una sua giornata, il direttore di una azienda comanda: « Spedire a Porto Said un campionario completo delle nostre merci », e passa ad altro; ma il segretario prende questo campionario, ne fa fare un solido pacco, vi fa scrivere l'indirizzo, fa battere a macchina una lettera di accompagno, ecc... Il nostro cervello comanda: « alzare il braccio sinistro » e passa ad altro; se noi alzassimo semplicemente il braccio sinistro, precipiteremmo a terra perchè il centro di gravità si sposta;

ma ecco che l'attento segretario, il cervelletto, interviene immediatamente a nostra insaputa e provoca quei piccoli movimenti necessari a che il nostro corpo, col braccio sinistro alzato, possa conservare il suo equilibrio.

Ma, come sapete, la perfezione, purtroppo, non è di questo mondo; perciò anche questo segretario perfetto ha un piccolo vizio: è parecchio sensibile all'alcool; quando è sotto l'effetto di questa droga viene meno al suo dovere e non pone più la solita cura nello sbrigare i suoi compiti di attento segretario. Anche se è esilarato da un po' troppo alcool, il cervello continua a emanare i suoi ordini per quanto questi possano essere, in questo caso, un po' strani; esso comanda al suo padrone di parlare e parlare, ma il cervelletto non è ora in grado di provvedere a tutte quelle piccole cose necessarie perchè la laringe, la bocca e la lingua articolino in modo chiaro e normale; ed ecco quella caratteristica voce rauca e pastosa, quell'incepparsi e ingarbugliarsi delle parole che ci fa riconoscere subito un tale che abbia alzato un po' troppo il gomito. E vediamo questo tale allontanarsi barcollando e minacciando a ogni passo di cadere, perchè il suo cervelletto non è ora più in grado di provvedere ai piccoli movimenti necessari al suo equilibrio.

Come vedete, questa frasca non è l'insegna di un'osteria, ma il vino è apparso egualmente sul nostro orizzonte.

I riflessi

Mentre il cervelletto, il midollo spinale e alcune parti del cervello, che si trovano nella parte inferiore, si occupano zelantemente delle azioni automatiche di cui noi siamo assolutamente inconsci, gli emisferi cerebrali sono la parte nobile del cervello; essi sono la sede della mente e in essi si svolgono tutti i processi della memoria. Se togliamo a un cane gli emisferi cerebrali...; non lasciatevi ora prendere da una pietà che, vi assicuro, è assolutamente fuori luogo; prima di tutto, quando si eseguono queste esperienze sugli animali si fa uso di tutti i più moderni accorgimenti (anestesia ecc.) che si usano nelle operazioni di un uomo, in modo da eliminare ogni sofferenza; e poi, se la morte di un

animale è utile per la futura salvezza di molti uomini, non vi sembra questo un argomento decisivo?

Dunque, se togliamo, per esempio, a un cane, gli emisferi cerebrali, ci troveremo di fronte a un animale che, apparentemente, non differisce molto da un cane normale: esso respira, inghiottisce, cammina, dorme... Ma mentalmente questo cane è morto; a esso manca qualunque segno di vita psichica. Se gli si mette il cibo in bocca, lo mastica, lo inghiottisce e lo digerisce; ma, lasciato a se stesso, non cerca il cibo e persino se gli ponete accanto un piatto appetitoso, resta completamente indifferente. Alzate ora un bastone e dategli un colpo: ecco che ringhia e cerca di azzannare; alzate di nuovo il bastone; esso non mostrerà nessun segno di paura: soltanto se sentirà il dolore del colpo, ringhierà di nuovo. Questo cane decerebrato è assolutamente incapace di memoria e reagisce soltanto se è direttamente stimolato. Portandogli via gli emisferi cerebrali, lo abbiamo privato della possibilità di compiere qualsiasi atto cosciente.

Ma si può fare ancora di più. Se — mettendo sempre da parte quella tale pietà — decapitiamo addirittura una rana e tocchiamo una delle sue zampe, vedremo che essa ritrae anche l'altra zampa; se lo stimolo è più forte, essa ritrae anche l'altra coppia di zampe. Vi assicuro che è un po' impressionante vedere come questo piccolo corpo decapitato si agita ancora non appena stimolato. Che cosa accade in esso?

Le fibre sensoriali trasmettono lo stimolo dalla pelle al midollo spinale; dalle cellule del midollo questo stimolo *si riflette* a fibre motrici che arrivano ai muscoli. Questi movimenti, per i quali la presenza del cervello è assolutamente superflua, prendono il nome di movimenti riflessi o, semplicemente, *riflessi*.

Nell'udire un rumore improvviso, l'uomo, per riflesso, trasale; quando una forte luce colpisce l'occhio, la pupilla, per riflesso, si restringe.

I riflessi dunque sono movimenti istintivi. Il nostro corpo è percorso continuamente da impulsi che vanno, si riflettono e tornano a nostra insaputa: star seduti, stare in piedi, camminare, respirare, udire... è il risultato di questo intrecciarsi di impulsi. L'esistenza di normali movimenti riflessi è la necessaria condizione di vita dell'uomo normale.

TAVOLA XXI

Un insetto al lavoro, il sigaraio del nocciolo, mentre taglia una foglia, che avvolgerà per deporvi le uova (*Agenzia Popper*).

I riflessi condizionati

Non molti anni fa il russo Pavlov stava studiando, a Leningrado, i processi digestivi e le ghiandole salivari e, all'inizio del suo lavoro su queste glandole tanto poco... intellettuali, non pensava certamente che esso lo avrebbe portato a studiare il funzionamento del cervello e che poco per volta sarebbe giunto in piena psicologia. Così accade: in una discussione, in una gita o in uno studio si sa sempre da dove si parte ma non si sa mai dove si può giungere.

Abbiamo or ora parlato dei riflessi e forse vi state meravigliando che io li abbia abbandonati così bruscamente; ma non si tratta di un abbandono definitivo perchè le glandole salivari vi ci ricondurranno ben presto.

Dunque Pavlov, cominciando a studiare le glandole salivari, si accorse che il loro funzionamento è controllato, con grande esattezza e grande delicatezza, dai bisogni dell'organismo. Se il cibo che viene introdotto in bocca è asciutto, le glandole salivari producono una grande quantità di saliva, se invece è liquido la saliva prodotta è molto minore; se il boccone deve essere inghiottito, ecco una saliva vischiosa e lubrificante; se invece si tratta di una sostanza nauseante che si deve — con permesso parlando — sputare, la saliva diviene più leggera ed acquosa per permettere alla bocca di rimanere più pulita possibile. Si può trovare del meraviglioso anche nel funzionamento di una glandola salivare.

Nel funzionamento di queste glandole il cervello è del tutto assente: si tratta di semplici riflessi — eccovi il ritorno promesso —; le sostanze introdotte nella bocca agiscono su speciali organi di senso posti sul palato e sulla lingua; e lo stimolo, dopo essersi riflesso, giunge infine alle glandole salivari provocandone l'adatto funzionamento.

Ma... scommetterei un milione — se lo avessi — che voi, in questo momento, state inconsciamente inghiottendo saliva: sentendo parlare di glandole salivari e di saliva, anche le vostre glandole (come del resto le mie) si sono messe a funzionare. Pro-

prio ciò che ci accade quando ci fermiamo, desiderosi, dinanzi a una vetrina di commestibili; abbiamo allora ciò che volgarmente si chiama « l'acquolina in bocca »; il che, in termini più scientifici, vuol dire che alla *sola* vista del cibo le nostre glandole salivari si sono messe a funzionare, producendo saliva più o meno liquida e più o meno abbondante a seconda che il cibo, sul quale fissiamo lo sguardo bramoso, è più o meno asciutto.

In questo caso il funzionamento delle glandole salivari non è più puramente automatico; esso non è più provocato ora dal *contatto* del cibo con il palato e la lingua ma soltanto dalla *vista* del cibo. Non ci troviamo più dinanzi a un semplice riflesso: entra in scena il cervello.

Naturalmente Pavlov non stava dinanzi alla vetrina di un pasticciere osservando il funzionamento delle glandole salivari dei vari passanti. Egli era uno scienziato e più precisamente un fisiologo; quindi intraprese una serie di esperienze eseguendole con metodi rigorosamente scientifici. Egli e la sua scuola eseguivano le esperienze sui cani; esperienze che non erano nè sanguinose nè impressionanti. Ponevano un cane in una stanza tranquilla (in modo che l'animale non fosse distratto da avvenimenti perturbatori) nella quale poteva essere introdotto un piatto di cibo attraverso una specie di passavivande; e perchè il cane non fosse turbato nemmeno dalla vista dello sperimentatore, questi stava all'esterno della stanza e osservava la reazione dell'animale attraverso un buco praticato nella parete. Come vedete, nulla di più semplice e di meno sanguinoso.

Dunque il cane sta tranquillo nella sua stanza tranquilla, quando si sente il suono di un campanello; subito dopo viene introdotto nella stanza un piatto di buon cibo; il cane dà segni di eccitazione, le sue glandole salivari cominciano a funzionare, si lancia sul cibo e mangia; il piatto vuoto viene ritirato. Passa parecchio tempo, tanto da lasciare all'animale il tempo di digerire il suo pasto; poi ecco di nuovo il suono del campanello e, subito dopo, ecco di nuovo il cibo. Poi ancora del tempo, il campanello, il cibo. E così varie volte: il cibo non viene mai introdotto senza essere stato preceduto dal suono del campanello.

Le prime volte il cane non presta alcuna attenzione al suono

del campanello; esso per lui non ha alcun significato. Ma dopo qualche volta, non appena l'animale sente il trillo, prima ancora che venga introdotto il piatto, mostra tutti i segni di eccitazione che prima mostrava soltanto alla vista del cibo: si agita, si lecca le labbra e le sue glandole salivari cominciano a funzionare. Il funzionamento di queste glandole non è ora provocato nè dal contatto del cibo con la lingua e con il palato e nemmeno dalla vista del cibo; esso è provocato dal semplice suono del campanello, suono che, invariabilmente e senza eccezione, è seguito dall'apparizione del piatto. La relazione diventa sempre più indiretta.

Per una persona che osservi la reazione del cane, questa nuova abitudine è assolutamente indistinguibile dal semplice riflesso: non appena il cibo viene introdotto nella bocca, le glandole salivari cominciano opportunamente a funzionare; ora, non appena l'animale sente il suono del campanello, le glandole salivari cominciano a funzionare. Nel primo caso abbiamo un semplice riflesso, nel secondo caso abbiamo ancora un riflesso, ma un riflesso più indiretto, nato dal ripetersi di particolari condizioni esterne; è quello che si chiama un *riflesso condizionato*. In questo caso il rapporto tra i fattori che eccitano le glandole salivari diventa più remoto e più sottile: ci troviamo di fronte a un fenomeno di elevatissimo adattamento.

Potete forse pensare che questo particolare riflesso condizionato, questo rapporto complesso e lontano tra un dato rumore (che può essere il suono di un campanello o di un gong o il rumore dei passi di una determinata persona che abitualmente reca il cibo all'animale o qualsiasi altro rumore) e il lavoro delle glandole salivari non abbia poi, in definitiva, una grande importanza. Ma vi ingannate: basta che pensiate a un animale la cui saliva contenga un veleno difensivo; non appena esso sente avvicinarsi un nemico, le sue glandole salivari cominciano a funzionare, preparando, prima dell'attacco, la potente arma di difesa. In questo caso il rapporto tra quel rumore e il lavoro delle glandole salivari è di vitale importanza per la sopravvivenza dell'animale.

Naturalmente non soltanto un suono, ma ogni stimolo che proviene dal mondo esterno, ogni impressione visiva, ogni odore, ogni eccitamento meccanico della pelle in qualunque suo punto,

il raffreddamento e il riscaldamento della pelle..., tutto può essere posto in collegamento con le glandole salivari e diventare fattore di salivazione purchè abbia coinciso, per un numero di volte sufficiente, con un riflesso semplice, cioè con la salivazione provocata dal cibo introdotto nella bocca.

Arrossendo vi dirò che cosa è un riflesso condizionato

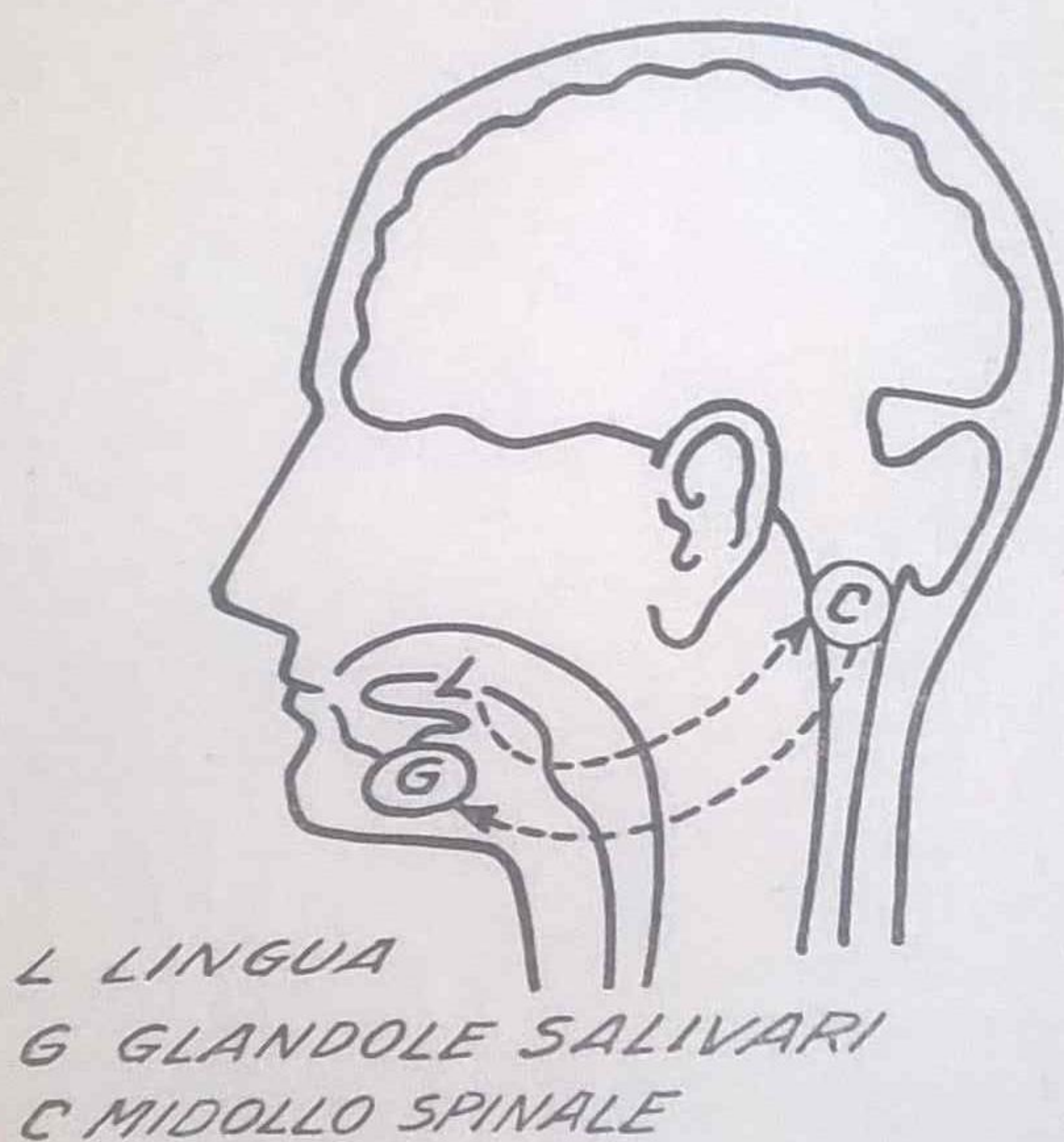
Ed ora vorrei dirvi, in modo molto ma molto grossolano, che cosa è, da un punto di vista fisiologico, un riflesso condizionato. Ve lo dirò in modo tanto grossolano che sto, in verità, arrossendo di vergogna; ma, tutto sommato, penso che sia meglio dirvelo arrossendo che non dirvelo affatto.

Verso la fine dell'800 i fisiologi si dedicavano a ricerche molto interessanti; essi studiavano le localizzazioni cerebrali, cioè le corrispondenze che esistono tra le varie regioni della corteccia cerebrale e le varie funzioni del corpo. Mi spiego: ogni funzione è, per così dire, comandata da una determinata parte della corteccia: per esempio, nella parte posteriore della corteccia frontale esistono i centri dei movimenti del corpo; anzi la localizzazione è ancora più minuta; se si stimola direttamente (per esempio con un metodo elettrico) un particolare punto di questa regione, si hanno movimenti della gamba, se si stimola un altro punto, si hanno movimenti del braccio ecc. Invece nella zona occipitale della corteccia si ha il centro per la vista, nella zona temporale quello per l'udito ecc. Se per qualche ragione (ferita o altro) uno di questi centri viene leso, la funzione corrispondente viene alterata e non si svolge più normalmente.

Ciò premesso, torniamo ai riflessi e riprendiamo i due tipi di riflessi: il riflesso semplice (per esempio funzionamento delle glandole salivari provocato dal contatto del cibo con la lingua e il palato) e il riflesso condizionato (per esempio, funzionamento delle glandole provocato dal suono del campanello che precede la comparsa del cibo).

Nel primo caso — riflesso semplice — lo stimolo parte dagli organi del gusto posti sulla lingua (comincio ad arrossire), va fino a un punto della parte inferiore del cervello in cui si trova il centro che controlla le glandole salivari e giunge infine sulle glandole stesse: esso rappresenta una attività nervosa semplice che si compie nell'animale senza la partecipazione della corteccia cerebrale.

RIFLESSO SEMPLICE

L LINGUA
G GLANDOLE SALIVARI
C MIDOLLO SPINALE

Nel secondo caso, invece, — riflesso condizionato, — la strada percorsa dallo stimolo è più complessa: parte dall'orecchio, va nella corteccia cerebrale al centro dell'udito, passa a quel centro del movimento che controlla il funzionamento delle glandole e giunge infine alle glandole stesse.
Nel caso del riflesso semplice la strada seguita dall'impulso è:
lingua e palato-midollo spinale-glandole salivari.

Nel secondo caso invece:

orecchio-centro dell'udito-centro del movimento vasomotorio delle glandole.

Quindi il riflesso condizionato: suono del campanello-funzionamento delle glandole salivari, deve consistere nello stabilirsi di una strada di comunicazione tra il centro dell'udito e quel centro del movimento; in seguito all'insistente ripetersi della stessa successione di eventi, questi due centri sono stati posti in una permanente connessione. (Il rossore comincia a scomparire).

RIFLESSO CONDIZIONATO

SUONO

L LINGUA
G GLAND. SALIV.
U CENTRO DELL'UDITO
M CENTRO DEL MOVIMENTO

La distinzione essenziale tra un riflesso semplice e un riflesso condizionato, consiste proprio in questo intervento del cervello. In animali privati totalmente degli emisferi cerebrali, non si è mai potuta ottenere la formazione di riflessi condizionati.

Inibizioni

Mentre, dunque, un riflesso semplice è innato, congenito nell'animale, i riflessi condizionati si formano costantemente e ininterrottamente durante la vita dell'individuo. E poichè questi riflessi condizionati hanno la loro sede in quella parte del sistema nervoso in cui costantemente si incontrano le numerose influenze del mondo esterno, si capisce come in ogni momento si svolga tra questi riflessi una lotta ininterrotta e una continua scelta; alcuni riescono vittoriosi e altri soccombenti, o, come si dice, *inibiti*. Di qui, continui casi di inibizione dei riflessi. Volete vederne subito un esempio? Eccovi accontentati.

Prendiamo, al solito, un cane e facciamo agire su un punto della sua pelle una forte scossa elettrica, che provocherà, naturalmente, una impressione dolorosa. In risposta a tale stimolo dolorifico, si stabilisce nel cane un riflesso di difesa: l'animale comincia a dibattersi sul tavolo sul quale è legato e cerca di afferrare con i denti l'oggetto con il quale gli si applica l'eccitamento. Se ripetiamo questa esperienza per alcuni giorni di seguito, vedremo che l'animale diventa sempre più eccitabile e più intollerante verso lo stimolo; il riflesso di difesa va diventando sempre più forte.

Facciamo ora una cosa un po' strana. Contemporaneamente alla applicazione della scossa elettrica, diamo da mangiare all'animale e ripetiamo più volte questa combinazione: corrente elettrica-cibo. Vedremo che, poco per volta, la reazione difensiva va indebolendosi finchè, dopo qualche tempo, scompare del tutto. Siamo di fronte a quella che si chiama una *inibizione*: l'eccitamento del centro alimentare, eccitamento provocato dal cibo, ha inibito, cioè ha fatto sparire l'eccitamento del centro dolorifico provocato dalla scossa elettrica.

Ma per assistere a fenomeni di inibizione, non è necessario guardare un cane legato su un tavolo; è stato necessario osservarlo per capire il processo. Ma ecco, lontani da ogni osservazione — nella foresta e nel fondo del mare o nell'aria — due animali che lottano per la conquista del cibo; è una lotta lunga,

feroce, durante la quale essi si feriscono profondamente a vicenda; ma non si accorgono nè degli strappi della pelle nè dei brandelli di carne che vengono addentati e strappati nè del sangue che scorre. La conquista del cibo è condizione essenziale per l'esistenza; il centro alimentare è un centro fisiologico possente. Anche in questo caso, l'eccitamento del centro alimentare ha inibito l'eccitamento del centro dolorifico provocato dalle ferite.

E possiamo trovare intorno a noi altri infiniti esempi di inibizione; poichè questa è una legge generale: non appena insieme a un riflesso se ne provoca un altro, il primo perde di intensità fino ad annullarsi. Quel tale che sta letteralmente pestando il pianoforte al piano di sopra, proprio sulla mia testa, da questa mattina, mi ha fortemente irritato fino al momento in cui ho cominciato a scrivere: da allora non l'ho più sentito affatto fino a questo momento però in cui mi accorgo che egli, per tutto questo tempo, ha continuato imperterrito a pestare.

Un boxeur che si rispetti non batte ciglio anche quando vede il guantone dell'avversario scagliarsi fulmineo contro il suo naso. Uno studente di medicina, tutto preso dall'interesse dei suoi studi, non sviene e non dà nessun segno di disagio alla vista di un cadavere umano sezionato... Ecco tutti esempi di inibizioni.

Tutto il nostro comportamento è il risultato di un continuo gioco ed equilibrio tra eccitazioni e inibizioni. Le reazioni del cervello agli stimoli che costantemente affluiscono a lui da tutti gli organi di senso, sono controllati da tutto questo insieme di delicati processi di inibizione; e ho detto « delicati » perchè la caratteristica principale di queste inibizioni è di essere estremamente fragili. Se, per esempio, durante l'esperienza della scossa elettrica sul cane, l'animale sente qualche rumore o anche qualche strano odore, l'esperienza non riesce più; scompare la salivazione, scompare qualsiasi reazione alimentare e ricompare la reazione difensiva. Se mentre sto qui, tutto intento a scrivere, sento un improvviso rumore o — che so io? — mi accorgo di un sospetto puzzo di bruciato, improvvisamente ricomincio ad accorgermi di quel disgraziato che pesta il pianoforte sulla mia testa.

Forse è proprio a questa differenza di sensibilità tra eccitazione e inibizione (per cui l'inibizione è la prima a scomparire)

che si deve l'azione di piccole dosi di alcool, le quali ci fanno fare o ci fanno dire cose che, di solito — anche se le pensiamo — non diciamo e non facciamo.

Il sonno

Durante le ricerche sui riflessi condizionati (ricerche che sono durate decine di anni) e, più precisamente, durante le ricerche sulle inibizioni, si è affacciato in modo del tutto naturale il problema del sonno.

In queste esperienze infatti si osservò, in tutti i cani, un fatto abbastanza strano e inatteso.

Facciamo nascere in un cane il solito riflesso condizionato; dopo che, ripetute volte, la comparsa del cibo è stata associata

al suono di un campanello, il cane, come già sappiamo, comincia ad agitarsi non appena sente il suono e, prima ancora che compaia il cibo, si lecca le labbra, si volta verso il passavivande e le sue glandole salivari cominciano a funzionare. Cominciamo ora, giorno per giorno, ad aumentare l'intervallo di tempo che passa tra il suono del campanello e il presentarsi del cibo, fino a raggiungere due o tre minuti. In principio il cane comincia ad avere l'« acquolina in bocca » non appena suona il campanello e con-

tinua fino all'apparire del cibo. Ma, poco per volta, esso comincia a comportarsi in modo diverso: non si muove affatto e non mostra alcun interesse al suono del campanello e soltanto dopo che sono passati circa due minuti, comincia ad agitarsi e le sue glandole salivari cominciano a funzionare. La pausa tra il suono del campanello e la reazione alimentare del cane, questa pausa cioè in cui l'eccitamento condizionato non si manifesta, è un vero periodo di sospensione, di conflitto interno, è una fase di inibizione; il suono ha prodotto la solita tendenza a rispondere, ma un processo di inibizione simultaneo domina questa tendenza per quasi tutto l'intervallo di tempo che passa tra il suono e la presentazione del cibo.

Fin qui tutto ha proceduto regolarmente. Ma se noi continuiamo ad allungare l'intervallo di tempo tra il suono del campanello e la presentazione del cibo, accade un fatto strano: non soltanto l'eccitamento condizionato diventa completamente inattivo (cioè il cane non mostra più, nè con ritardo nè senza, alcuna reazione alimentare) ma, molto spesso, l'animale cade in un sonno profondo, con rilasciamento della muscolatura scheletrica, dal quale è difficile svegliarlo.

E questa strana reazione dell'animale — sonno, o anche semplicemente sonnolenza — non appare soltanto in questa particolare esperienza, ma appare spesso anche in altre esperienze sulla inibizione: non appena cominciano esperienze che comportano una considerevole inibizione, ecco che appare la sonnolenza.

Potreste pensare che questa sonnolenza o questo sonno siano dovuti al semplice fatto che il cane si stanchi per la difficoltà del problema che gli viene proposto. Invece no: appare chiaro in tutti i casi studiati che questo processo di sonno è un processo attivo proprio come lo è l'inibizione. Anzi Pavlov e i suoi ricercatori si convinsero sempre più che inibizione e sonno sono uno stesso e unico fenomeno. Questa conclusione si accorda molto bene con tutte le loro osservazioni fatte durante più di venti anni di lavoro.

Come si spiega allora questo fenomeno del sonno? Sotto l'azione del solo stimolo condizionato (suono del campanello) agente su un determinato punto della corteccia cerebrale, si

inizia in quel punto un processo di inibizione; questa inibizione non è, in definitiva, che uno stato di inattività che appare in un gruppo di cellule. In condizioni normali questo stato di inattività resta limitato a un ben determinato gruppo di cellule, mentre la rimanente parte del cervello è, per così dire, continuamente occupata dalle nuove e numerose eccitazioni che le giungono dal mondo esterno; non abbiamo infatti detto, poco fa, che il comportamento di un essere vivente è il risultato di un continuo gioco e di un continuo equilibrio tra inibizioni ed eccitazioni?

Ma quando poniamo il cane in quella condizione artificiale della esperienza ultima in cui prolunghiamo eccessivamente l'inibizione avendo contemporaneamente soppresso ogni altro stimolo esterno (rumori, odori, variazioni di illuminazione, ecc.) l'equilibrio tra eccitazione e inibizione viene rotto; l'inibizione, raggiunto il massimo della sua intensità, si comincia a diffondere uniformemente per tutta la massa degli emisferi cerebrali, giungendo fino ai centri più bassi del cervello; l'animale si addormenta.

Tuttavia anche durante il sonno possono rimanere nella corteccia singoli punti in stato di eccitazione, quasi sentinelle del cervello: una madre che abbia in camera il suo bambino, anche se è immersa nel sonno più profondo, si sveglia immediatamente al più piccolo movimento del bimbo, mentre può non svegliarsi affatto per altri rumori ben più forti.

L'inibizione quindi non è che un sonno localizzato; il sonno non è che una inibizione diffusa. Non vi sembra un'idea suggestiva? Certamente voi vi illudete che la vostra giornata sia regolarmente suddivisa tra il sonno e la veglia; vi sbagliate: voi non siete mai completamente svegli; c'è sempre qualche parte del vostro cervello in cui è in atto un processo di inibizione, c'è sempre cioè qualche parte del vostro cervello che dorme. E viceversa, quando dormite, qualche piccola porzione del vostro cervello può essere sveglia. Il sonno fluisce e defluisce continuamente nel cervello: quando andiamo a letto fluisce, quando ci svegliamo defluisce, ma molto, molto di rado esso sparisce del tutto dagli emisferi cerebrali.

Dunque qualunque eccitamento uniforme e prolungato conduce alla sonnolenza e al sonno. Devo proprio rammentarvi una

quantità di casi della vita che lo dimostrano? Non vi viene in mente quel disgraziato conferenziere che parla e parla con voce monotona nel silenzio di una sala o il canto delle cicale nella quiete di una campagna assolata?

Ipnosi

Un'ultima cosa molto interessante a proposito degli esperimenti sulla inibizione. Qualche volta — in verità piuttosto di rado — durante queste esperienze, un cane invece di addormentarsi, passa in uno stato ipnotico o, come anche si dice, cade in « trance »: resta in posizione eretta, ma perfettamente immobile, qualche volta per pochi minuti, qualche volta per ore. Se le gambe vengono messe dallo sperimentatore in una nuova posizione, l'animale resterà immobile in questa nuova posizione.

Questo stato ipnotico è uno stato intermedio tra la veglia e il sonno, cioè è uno stato intermedio tra l'inibizione strettamente localizzata (veglia) e l'inibizione completamente diffusa (sonno). In questo caso l'inibizione si è diffusa soltanto alla corteccia cerebrale mentre la parte più bassa del cervello, dalla quale dipende la possibilità di mantenere eretto e in equilibrio il corpo, continua ad essere sveglia e in piena attività.

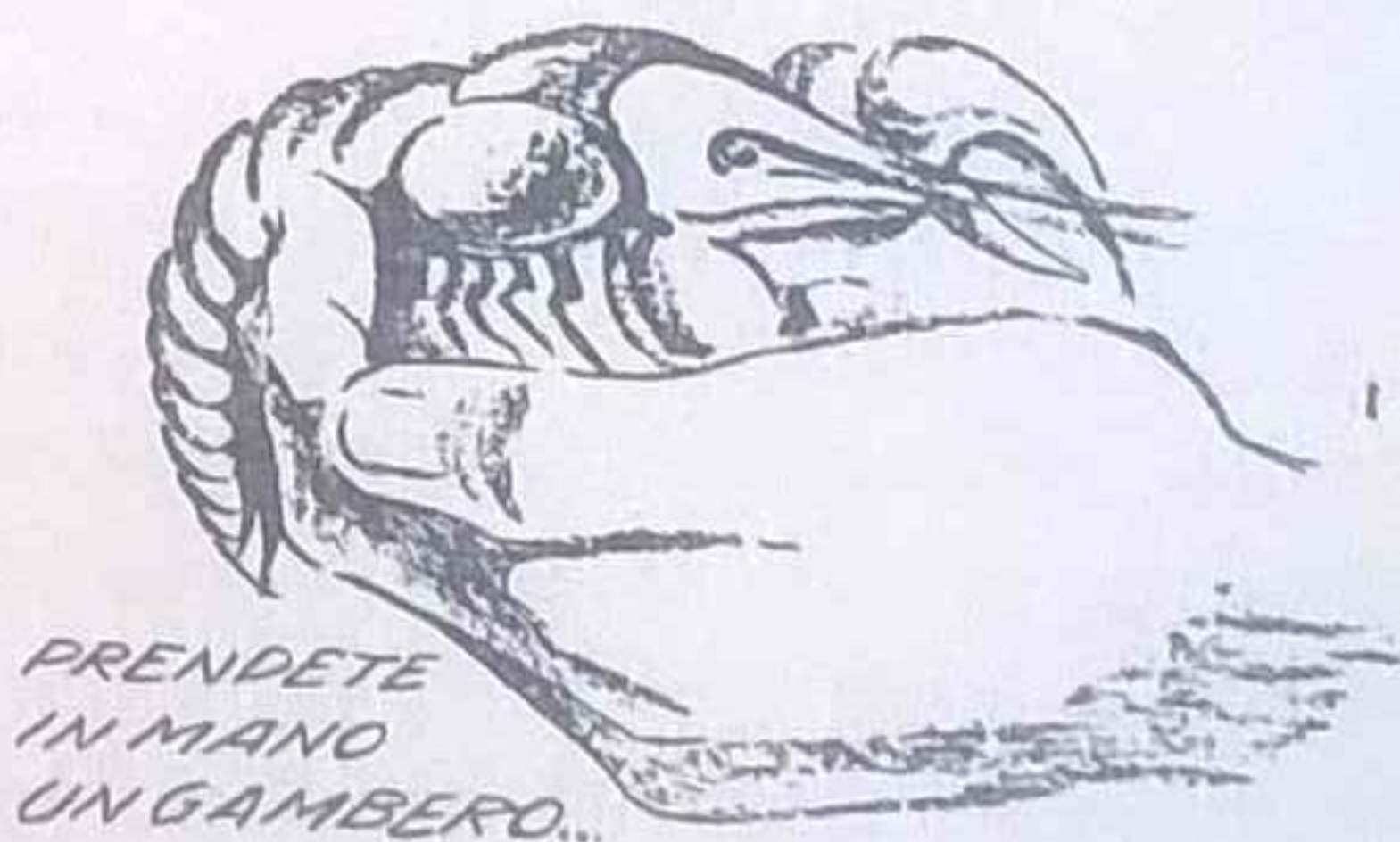
Questo stato di semi-sonno (o, se volete, di semi-veglia) è proprio quello che si osserva all'inizio di quelle sempre affascinanti esperienze di ipnotismo, che lasciano tanto turbati gli spettatori. Un uomo — sotto l'influenza dello sguardo o delle parole o dei passi dell'ipnotizzatore — cade in uno stato ipnotico: egli perde ogni controllo volontario ma mantiene il potere di mantenersi eretto e in equilibrio.

Ma il parallelismo non si ferma qui. Nelle esperienze con il cane, l'inibizione può essere diffusa ma non tanto da estendersi a tutta la corteccia cerebrale; essa può diffondersi anche soltanto a una parte mentre la rimanente porzione e la parte più bassa del cervello restano sveglie; abbiamo allora un cane in po-

sizione eretta e perfettamente immobile ma nel quale c'è ancora qualche cosa che risponde agli stimoli esterni: per esempio le glandole salivari. Il cane è lì in trance; suona il campanello e immediatamente dalla bocca dell'animale — sempre immobile e fisso — comincia a colare una abbondante saliva. Piuttosto impressionante, vero? Ed ecco ora un uomo in stato ipnotico. La sua corteccia cerebrale può essere inibita soltanto in parte: ed esso è capace di qualsiasi movimento ma contemporaneamente è dolorosamente cosciente della propria impotenza.

Le esperienze sulla inibizione mostrano però semplicemente come si possa interpretare la fase iniziale dello stato ipnotico, lasciando del tutto da parte i successivi fenomeni di suggestione, nei quali entra in gioco l'uso del linguaggio.

Non soltanto i cani, ma anche altri animali, tra i quali persino alcuni invertebrati, possono entrare in stato catalettico. Prendete in una mano un gambero di fiume e con l'altra mano accarezzatelo leggermente e con continuità sul dorso, partendo sempre dalla coda e vedrete che esso passa ben presto in stato catalettico: diviene immobile e stecchito e può essere messo in tutte le più strane posizioni. I granchi e gli scorpioni di mare, le anitre, le galline, i maiali, le capre... gli animali più diversi possono cadere in stato ipnotico; e gli stregoni dei Faraoni sapevano benissimo (almeno sembra) come fare cadere in trance un serpente cobra.

PRENDETE IN MANO UN GAMBERO...

Questo processo della diffusione più o meno estesa della inibizione nella massa cerebrale si manifesta a noi nei modi più vari e più strani: un serpente ipnotizzato dal monotono suono di un flauto, una madre addormentata che si sveglia al più piccolo movimento del suo bimbo, un uomo immerso in un pensiero che resta assolutamente estraneo a tutto ciò che lo circonda..., la terribile sonnolenza dalla quale siete stati presi leggendo questo monotono e noiosissimo libro...

Che cosa vede e che cosa sente un cane?

Ed ora non più sonno, non più inibizioni, ma — scusatemi — ancora cani.

Vi siete mai chiesti come questo nostro mondo appare a un cane? Lo vede esso come noi lo vediamo? Sente i suoni come noi li sentiamo?

Per rispondere a queste domande ci servono ancora i riflessi condizionati. Formiamo, per esempio, un riflesso condizionato per mezzo di uno schermo perfettamente annerito; mostriamo questo schermo a un cane posto in quella famosa stanza perfettamente chiusa ecc., e subito dopo diamogli da mangiare; mostriamogli invece uno schermo bianco e non facciamolo seguire da alcun cibo. E così varie volte; dopo qualche tempo, le glandole salivari del cane cominciano a funzionare non appena esso vede lo schermo nero e restano inattive al presentarsi dello schermo bianco.

Presentiamogli ora uno schermo grigio pallido invece dello schermo bianco; il comportamento del cane non cambia; le sue glandole restano inattive ed entrano in funzione soltanto alla vista dello schermo nero. Ora modifichiamo di giorno in giorno l'esperienza e precisamente presentiamogli, al posto del primitivo schermo bianco, uno schermo che diventi di giorno in giorno più scuro; da grigio pallido esso diventa sempre più prossimo al nero. Fino a quale limite il cane apprezzerà la differenza? Cioè a quale grado di annerimento le sue glandole cominceranno a funzionare, indicando con ciò che l'animale non è più capace di distinguere e confonde ora questo nuovo schermo scurissimo con l'originario schermo che ci era servito per fare nascere il riflesso condizionato? Ebbene, si trova questo risultato inaspettato: anche quando il secondo schermo ha raggiunto un grado di annerimento tale da apparire a noi identico allo schermo nero, il cane continua a distinguerli: le sue glandole salivari rimangono inattive se gli presentiamo questo schermo annerito e entrano in funzione alla vista dell'originario schermo nero. L'occhio del cane continua a trovare differenze di annerimento là dove l'occhio umano non ne trova più.

In compenso però l'occhio del cane non può apprezzare i contorni così esattamente come l'occhio umano e sembra anche che manchi quasi totalmente del senso del colore.

Tutto sommato, un cane deve vedere il mondo un po' come lo vedremmo noi al cinematografo se la macchina di proiezione fosse leggermente fuori fuoco; un mondo sfocato in bianco e nero nel quale però sono molto più ricche e marcate le differenze di luminosità.

E come è per il cane il mondo dei suoni? Sono state fatte esperienze analoghe ed è stato trovato che il mondo dei suoni è, per il cane, più ricco che per noi: non soltanto esso può apprezzare differenze di intensità di suono che a noi assolutamente sfuggono, ma può persino sentire suoni che noi non sentiamo. Un cane infatti sente i cosiddetti ultrasuoni, che passano completamente inavvertiti all'orecchio umano; se voi andate a spasso con un cane muniti di un piccolo apparecchio capace di emettere soltanto ultrasuoni e, a un certo momento, mentre il cane scorrazza lontano, fate funzionare questo apparecchietto, nessuno dei passanti si volterà per la semplice ragione che nessuno avrà sentito nulla; ma il cane ha sentito ed ecco che si precipita verso di voi.

Come vedete, il mondo di un cane è simile ma non è eguale al nostro mondo.

Così, con metodi strettamente scientifici, l'uomo è riuscito a raggiungere un risultato insperato: penetrare un po' nella psiche di un animale.

In fondo, la cosa che più ha interessato e interessa l'uomo è il contenuto della sua psiche; ma il suo meccanismo è sempre stato ed è avvolto in una tenebra profonda. Tutte le risorse dell'uomo: l'arte, la religione, la filosofia... si sforzano di gettare un raggio di luce in questa tenebra. Ma l'uomo dispone ancora di un'altra potente risorsa: la ricerca scientifica, con i suoi metodi obiettivi. Tutto ciò che vi ho raccontato alla meglio in questi ultimi paragrafi rappresenta uno dei numerosi tentativi per studiare, con l'aiuto del metodo strettamente scientifico, il meccanismo dei fenomeni vitali superiori del cane, di questo animale tanto caro e tanto vicino all'uomo.

L'istinto

Ma lasciamo ora i cani, e torniamo a guardare intorno a noi tutti gli esseri viventi; guardiamo i pesci e i ragni e le api e i pulcini e le scimmie... Vi siete mai soffermati ad analizzare il loro comportamento?

Ecco un cacciatore di bruchi, un ammofilo (se vi interessa, vuol dire « amico delle sabbie »); la femmina di questa vespa, a un certo momento della sua vita, compie alcuni atti molto complicati: si avvicina alla larva di una farfalla e la punge in alcuni punti vitali che corrispondono ai gangli nervosi principali; e poichè la puntura è velenosa, la larva resta paralizzata. Poi prende questa larva e la trasporta in un luogo nascosto accanto all'uovo che aveva prima deposto; anzi essa posa questo uovo addirittura sul ventre della preda paralizzata, in modo che la larvetta di ammofila che nascerà da questo uovo troverà lì pronto un cibo che si è mantenuto vivo e fresco ma che non è pericoloso perchè è paralizzato. Tutto ciò è veramente meraviglioso; questi atti sono così coordinati e diretti a un fine da sembrare la conseguenza di una lunga esperienza. Eppure questi animali nascono con questa attitudine; essi non imparano nulla dalla madre che è già morta prima della loro nascita; essi non imparano nulla durante la loro vita. Questi atti sono istintivi.

Istinto è una parola molto pericolosa; perchè essa è stata usata nei sensi più vari. Ma in realtà bisogna restringerne il significato a quegli elementi del comportamento di un essere vivente che sono innati nell'organismo; istinto è il suo comportamento congenito. Esso può essere un atto complesso, diretto a un fine; ma è sempre un atto compiuto per capacità innata, non perfezionato dalla esperienza.

Ogni animale inizia la sua vita in questo mondo con una certa dotazione di istinti. Alcuni animali però percorrono tutta la loro vita unicamente con questi e la base dei loro atti è quindi soltanto il potere di compiere automaticamente atti non imparati. Altri animali invece — e sono il maggior numero — imparano durante tutta la loro vita. Accanto quindi agli atti

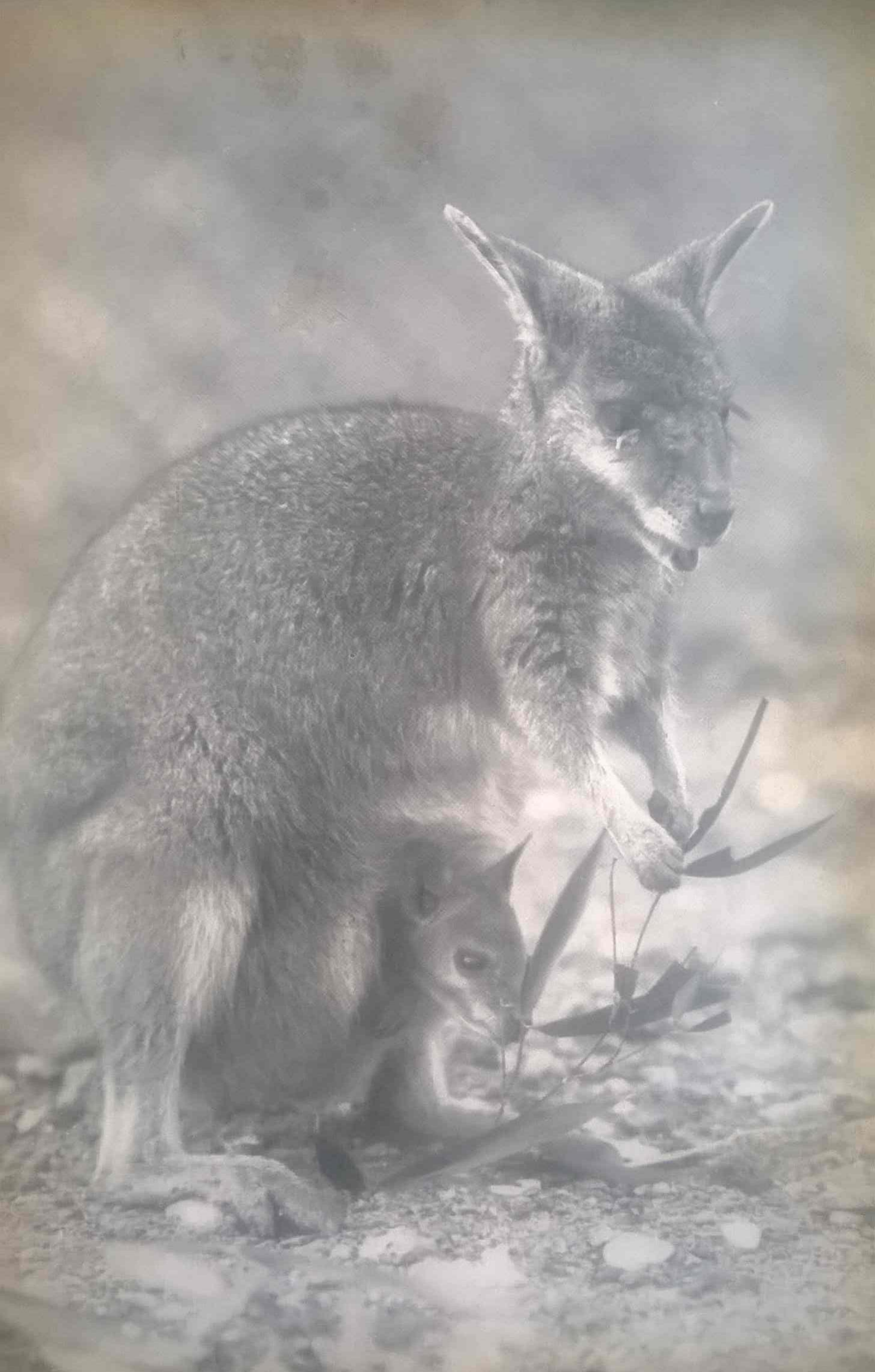
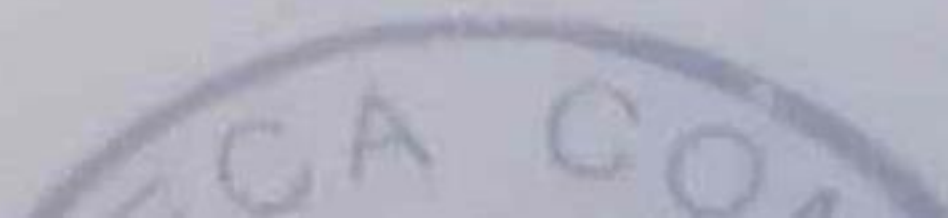



TAVOLA XXII

Una madre canguro col suo piccolo comodamente accovacciato nel marsupio.

istintivi abbiamo, in questi animali, tutti quegli elementi del comportamento che dipendono dalla esperienza individuale: sono questi gli *atti intelligenti*.

Gli insetti, con a capo le formiche e le api, sono i più importanti rappresentanti degli esseri viventi il cui comportamento è puramente istintivo. I mammiferi, con a capo l'uomo, sono i principali esseri viventi il cui comportamento è quasi completamente un insieme di atti intelligenti. Negli uni l'istinto, negli altri l'intelligenza. Un'ape e un uomo: nell'una un comportamento innato e fisso, nell'altro una flessibilità individuale e una esperienza che va indefinitamente accrescendosi.

Tutti gli animali però, anche i mammiferi, anche l'uomo, posseggono istinti; e primo tra questi l'istinto di prendere il cibo compiendo i movimenti adatti. Ma poichè l'intelligenza tende ben presto a nascondere questi istinti che tutti gli animali — anche i più alti della scala zoologica — posseggono, è necessario osservarli durante i primi giorni della loro vita, quando l'intelligenza non si è ancora sviluppata; un bimbo appena nato è capace di compiere quei complessi movimenti della lingua e della bocca che gli permettono di poppare; ecco il più importante atto istintivo che ben presto però viene perfezionato dalla esperienza.

L'intelligenza

Contrariamente all'istinto, l'intelligenza è basata sulla memoria. Un atto intelligente viene sempre compiuto in seguito a una esperienza precedente, cioè sulla base del ricordo di fatti già avvenuti.

Poniamo sul fondo di un acquario, in cui placidamente va girellando un pesce, diversi recipienti di vario colore: uno verde, uno rosso, uno azzurro...; e tutti i giorni poniamo il cibo destinato al pesce sempre nello stesso recipiente, per esempio in quello verde. I primi giorni il pesce, attratto dall'odore vago del cibo, lo va a cercare a caso, ora in questo recipiente, ora in quello; ma dopo qualche tempo si dirige sicuro al recipiente verde. Quando

siamo ben sicuri di questa... sicurezza, cambiamo recipiente e poniamo il cibo, per esempio, in quello rosso: il pesce si sbaglia e per un po' di tempo continua ad andare diritto al recipiente verde. Il pesce quindi ha una memoria.

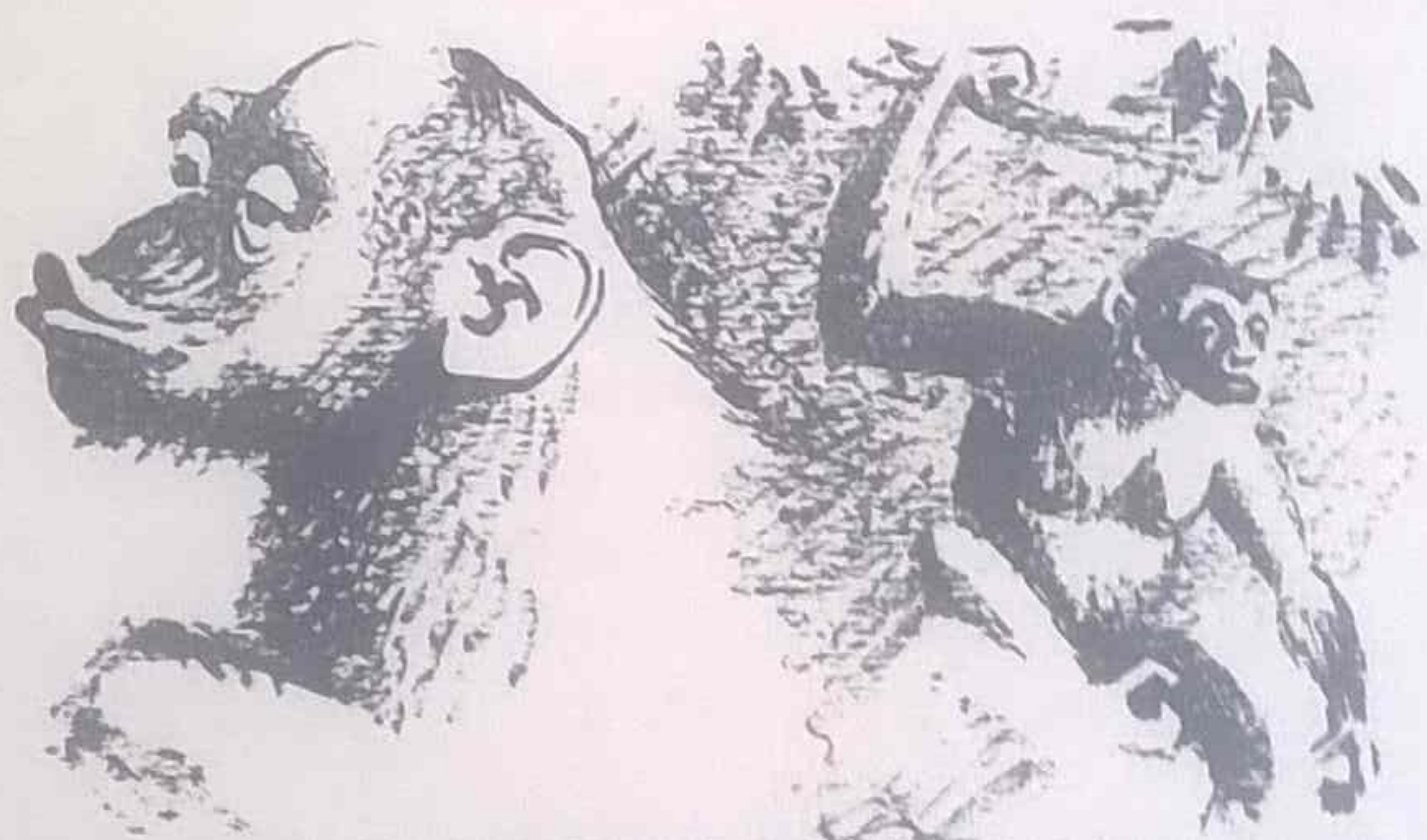
Ma attenzione! Guardatevi bene dal dire: il pesce ha *imparato* dove è il cibo; nulla autorizza noi — che stiamo qui all'esterno a osservarne i movimenti — a pensare che il pesce svolga nella sua testa un ragionamento; noi osserviamo soltanto il fatto bruto della memoria; il pesce, con i suoi atti, ci manifesta semplicemente di essere stato in precedenza assoggettato a particolari condizioni. Per lo svolgimento di questo fenomeno non appare necessaria la coscienza. Il comportamento del pesce però è già un accenno di intelligenza, perchè esso è conseguenza della sua esperienza personale.

Ma finchè si tratta di animali a sangue freddo l'intelligenza è, in generale, molto scarsa; è maggiore negli uccelli e nei mammiferi; bisogna però sempre procedere con molta cautela per poter ben distinguere gli atti istintivi dalla intelligenza.

Quel che sa fare e quel che non sa fare una scimmia

Ed eccoci ai mammiferi più intelligenti: eccoci alle scimmie e poi, infine, all'uomo.

Il comportamento e l'atteggiamento delle scimmie sono così simili a quelli dell'uomo che sono ben giustificati l'interesse, la curiosità e il divertimento che tanto a lungo trattengono bimbi e adulti dinanzi alle gabbie delle scimmie ai giardini zoologici. Una scimmia-madre culla e accarezza il suo scimmiottino, un ourang-outan sta triste e melanconico in un angolo come se nostalgicamente pensasse alla libertà perduta, un'altra scimmia è qui, attaccata alle sbarre della gabbia, chiedendovi insistentemente il cibo; e se si impauriscono fuggono facendo atti di paura, se sono contente battono le mani, se sentono un rumore insolito guardano tutte incuriosite. Esse ci sembrano proprio caricature di uomini.

Quale è lo sviluppo intellettuale delle scimmie? Prima di tutto vi dirò che non tutte le scimmie posseggono lo stesso livello intellettuale; le scimmie senza coda (scimmie antropomorfe) raggiungono un livello più alto. Vediamo, per esempio, che cosa riesce a fare uno scimpanzè, a cui non sia mai stato insegnato nulla, che sia stato posto in un recinto e che veda penzolare sulla sua testa, fuori dalla sua portata, un cibo appetitoso, per esempio una banana. Dopo vari salti e tentativi, esso si guarda intorno e, se vede a terra in un angolo un bastone (che, vi confesserò, è stato messo là apposta), lo va a prendere e, proprio come fareste voi, cerca di far cadere la banana; e una volta che ha imparato ciò, eccolo che, in mancanza del bastone, va a spezzare un ramo.

...L'ATTEGGIAMENTO DELLE SCIMMIE...

Se non ci fossero nè bastoni nè rami ma, sparse qua e là nel recinto, vede delle casse vuote, le pone l'una sull'altra e vi si arrampica; in verità, di solito, non si tratta di costruzioni molto stabili, però, dopo qualche tentativo, raggiunge il suo scopo.

E se vede un po' fuori del suo recinto un gruppetto di formiche — di cui è molto ghiotto — che non riesce a raggiungere con la mano, prende un fuscello, si allunga, lo posa tra le formiche, aspetta che queste vi si arrampichino, lo ritira e lo lecca. Quasi umano vero? Ma è necessario che il bastone per far cadere la banana o le casse per raggiungerla o il fuscello per catturare le formiche siano lì sotto i suoi occhi; se la banana è sospesa qui e lo scimpanzè non vede contemporaneamente nè bastoni nè casse, non abbandonerà quasi mai la banana per andarsi a cercare un

bastone o un ramo in un altro luogo: esso non è capace di riunire diversi elementi in un unico atto di pensiero.

La vita mentale delle scimmie si svolge essenzialmente nel presente e quasi mai si estende al passato o al futuro. Se uno scimpanzè è ammalato, i compagni si interessano di lui, ogni tanto gli vanno vicino e accorrono a ogni suo lamento; ma se portate via il malato, nessun compagno mostrerà di ricordarsi di lui o di soffrire per la sua assenza. Come i bimbi, essi vivono quasi del tutto dell'attimo presente; perciò non credo che quella scimmia che se ne stava sola e immobile in un angolo della gabbia svolgesse nella sua mente nostalgici pensieri di libertà e rivedesse col pensiero le foreste imbalsamate; probabilmente stava pigramente digerendo un abbondante pasto. Del resto, credete veramente che ogni dignitoso signore immobile e assorto volga nella sua mente profonde considerazioni filosofiche o nuove teorie sociali?

E una scimmia non ha la parola. Può ringhiare per la rabbia o sghignazzare per la gioia o urlare per la paura; ma tutti questi suoni sono soltanto espressioni dei propri sentimenti; mai esso vi descriverà l'oggetto della sua rabbia o della sua gioia, mai vi dirà perchè ha paura. Potere comunicare a esseri simili non soltanto i propri sentimenti ma il proprio pensiero, fare partecipi gli altri della propria esperienza, questo è esclusivamente dell'uomo.

E il pensiero dell'uomo non è soltanto limitato al presente, ma abbraccia il passato e il futuro; la sua mente sa dare significati precisi a termini astratti come Verità e Giustizia; l'uomo è al vertice più alto... State pensando a quegli atti che qualche volta pongono un uomo ben più in basso di una bestia? Il bene e il male: anche questo è esclusivamente umano.

Ma... da quanto tempo siamo appollaiati su questa frasca? Da troppo tempo? Distogliamo allora lo sguardo curioso dal cervello, sede dei sogni e veicolo della immaginazione. Scendiamo e guardiamo ora come tramonta una vita. Abbiamo assistito alla nascita e allo sviluppo di un essere vivente; assisteremo ora al suo invecchiamento e alla sua morte; abbiamo visto il suo principio: vedremo ora la sua fine.

Invecchiamento e morte

Il funzionamento di un organismo adulto implica una continua perdita di sostanza: lo stato adulto non è che uno stato di equilibrio in cui l'organismo continuamente compensa questa perdita. Ma purtroppo le restaurazioni non sono integrali e la regolazione non è perfetta; prima impercettibilmente e poi in modo sempre più sensibile, il gioco dei vari organi viene turbato finchè, prima o dopo, l'una o l'altra delle funzioni essenziali si trova così profondamente sregolata che la vita non è più possibile: e allora... arrivederci!

Ma questa evoluzione che, lentamente e fatalmente, conduce ogni essere alla morte, è, in generale, così progressiva che è difficile potervi riconoscere dei periodi distinti tanto che non è possibile dare nessuna definizione precisa della giovinezza, dell'età matura e della vecchiaia.

Anche noi, come tutti gli altri esseri viventi, ci avviamo verso la fatale conclusione: le nostre cellule (e specialmente quel-

le dei tessuti più specializzati) vanno lentamente degenerando e, di conseguenza, le nostre facoltà diventano man mano più ottuse; non riusciamo più a vedere e a sentire così acutamente come una volta, il nostro cervello è meno attivo, la nostra digestione è meno efficiente... Ma perchè accade tutto ciò? Perchè si invecchia?

Ecco un altro imbarazzante « perchè » al quale non posso rispondere; le basi chimiche di questo logoramento non sono note; sembra che nel sangue vadano col tempo accumulandosi sostanze velenose che poco per volta turberebbero il funzionamento di tutti gli organi.

Quanti perchè senza risposta! Sono campi ancora intatti che si stendono innanzi a noi; non vi attira la magnifica vita dell'esploratore? Animo! Qualche anno per preparare armi ed equipaggiamento e poi... partenza; l'ignoto, l'avventura, la scoperta e forse — perchè no? — la gloria...

Ed ecco che prima o poi qualche organo essenziale viene a mancare e l'organismo muore. E devo qui ripetere ciò che ho detto a proposito dell'accrescimento: le cellule dell'organismo non muoiono perchè la mortalità è inerente alla loro struttura interna. Esse muoiono soltanto perchè sono parti di un sistema molto complicato basato sulla cooperazione; quando l'una o l'altra parte di questo sistema è tanto sregolata da non potere più funzionare, essa trascina alla morte anche le altre parti. La morte è conseguenza di una organizzazione incompleta.

La morte naturale, dunque, sarebbe quella di un essere vivente i cui organi essenziali avessero sorpassato quel limite di logoramento che è compatibile con un funzionamento sufficiente: questo essere vivente morrebbe, per così dire, soltanto per aver vissuto troppo. Ebbene vi dirò ora una cosa che vi sembrerà molto strana: l'immensa maggioranza degli esseri viventi non muore di morte naturale; soltanto qualche animale inferiore ha qualche volta il privilegio di spegnersi per lento logoramento: tutti gli altri esseri (e in particolare gli uomini), anche quelli che ci sembra si siano spenti per morte naturale, sono morti per qualche causa che, almeno da un punto di vista teorico, poteva

essere evitato. Nessun uomo è mai morto per avere troppo vissuto.

E così quella farsa o quella commedia o quella tragedia che si chiama « vita » è finita. Un essere vivente è stato concepito, è nato, è cresciuto, è invecchiato, è morto: un altro essere viene concepito, nasce...; chi entra e chi esce: cambiano i personaggi ma il palcoscenico è sempre affollato.

E l'enorme maggioranza di questi personaggi attraversa il palcoscenico con gli occhi chini sulla propria persona, ciechi a tutto il resto; soltanto pochissimi — e tra questi pochissimi noi, stretti insieme per un fuggevole attimo — volgono lo sguardo attorno e guardano.

EVOLUZIONE

Un argomento spinoso

Poco tempo ci resta ancora da stare insieme; voi certamente ve ne rallegrate, ma, in verità, io me ne rattristo un po'; mi sono forse fatto tra di voi qualche amico che, di tanto in tanto, penserà a me; e ogni amicizia è dolce.

Impiegherò questo poco tempo a parlarvi di un argomento molto spinoso: l'evoluzione. Ed è un argomento spinoso non tanto per le difficoltà — diciamo così — scientifiche del problema (che sono grandissime ma non maggiori di quelle offerte da altri fondamentali problemi scientifici) quanto per l'enorme quantità e per l'acredine delle discussioni da esso provocate; discussioni che non sono rimaste limitate al campo degli scienziati, ma che hanno coinvolto filosofi e letterati e moralisti e teologi e chi più ne ha più ne metta. Chi trattò questo argomento con serietà di intenti e profonda cultura, chi — e furono molti — volle trarre conclusioni definitive da un imparaticcio affrettato e assolutamente insufficiente; chi fu in buona fede e chi in mala

fede; chi si lasciò guidare da preconcetti; chi cercò di liberarsene; chi fu troppo intransigente, chi troppo conciliante... Insomma un vero putiferio.

Non voglio essere troppo ottimista e dire che tutto ciò è storia passata; ma indubbiamente le acque sono andate calmandosi. Ed è in questa calma che noi cominciamo la nostra breve navigazione.

I fossili e l'evoluzione

Già molte volte abbiamo guardato intorno a noi la grande moltitudine degli esseri viventi e abbiamo ammirato la loro meravigliosa varietà; varietà di forme e varietà di dimensioni. Ma non sono questi i soli esseri viventi che la nostra Terra ha ospitato; c'è stata una moltitudine e una varietà ancora più grande di piante e di animali che hanno abitato sulla Terra e poi sono scomparse. Lo spettacolo che oggi ci offre la vita è meraviglioso: ma più meraviglioso è lo spettacolo che ha offerto la vita durante quei milioni di anni che costituiscono il passato della Terra.

Ricordate quel viaggio nel tempo che abbiamo fatto insieme quando, nel secondo di questi libri, cercavamo di scoprire le meraviglie di questa nostra Terra? Ricordate le diverse ère geologiche e i fossili — indiscutibili testimoni della rigogliosa vita del passato — e le foreste lussureggianti del periodo carbonifero e i fantastici dinosauri e i pesci corazzati...? Ebbene, quelle antiche forme, che sembrano fantastiche e incredibili, non sono poi, in realtà, tanto strane e incredibili; poichè quella è la strada che la vita ha percorso per giungere al suo aspetto attuale. La vita si è evoluta lentamente e il meraviglioso spettacolo è andato lentamente cambiando: da forme più semplici a forme più complesse.

Che la vita sia andata lentamente evolvendosi — che l'evoluzione sia, cioè, un fatto reale — è oggi una certezza; su questo sono ormai tutti d'accordo, scienziati e filosofi e teologi: la calma è definitivamente subentrata alla tempesta.

Le vere e proprie prove della evoluzione nelle sue grandi linee sono state portate dalla paleontologia, cioè dallo studio dei fossili. So benissimo di parlare a persone ormai competentissime in paleontologia (non ricordate infatti benissimo tutto ciò che vi ho raccontato nel secondo libro?) e quindi non vi farò l'offesa di parlarvi di nuovo degli strati, della loro origine e della loro disposizione; dirò soltanto che, studiando le stratificazioni — e i fossili in esse contenuti — nelle varie parti della crosta terrestre, gli scienziati sono giunti alla conclusione che, dai tempi antichissimi della comparsa della vita sulla Terra fino a oggi, esiste una successione nella fauna e nella flora; successione la quale ci traccia la storia degli esseri viventi.

Nel primo periodo si trovano protozoi, molluschi, artropodi, echinodermi ecc. ma nessun vertebrato; appaiono poi i vertebrati (con resti fossili di denti di alcuni pesci) e poi gli anfibi e poi i rettili e poi i mammiferi. In principio i mammiferi erano rappresentati da forme piccole e poco differenziate; ma ecco poi mammiferi ungulati, carnivori, insettivori e lemuridi. Appaiono poi le scimmie, ma soltanto in un periodo successivo compaiono le scimmie antropomorfe; e, ancora più recenti, due tipi di posizione incerta: il *pithecanthropus* e il *sinanthropus* (sui quali torneremo più tardi) e poi infine l'uomo. Ecco, a grandi linee, la storia degli animali.

Anche nelle piante si osserva una successione analoga, per quanto meno impressionante, dato che le piante non raggiungono un livello di organizzazione molto complesso.

Tutti i documenti fossili costituiscono la innegabile dimostrazione dell'esistenza della evoluzione. Tutti i nuovi fossili che si vanno scoprendo — grazie al continuo e instancabile lavoro dei paleontologi — cioè tutte le passate forme di vita che vengono alla luce qua e là, non costituiscono un insieme confuso e disordinato, ma rientrano in un ben ordinato schema e ognuna vi rientra ordinatamente al suo posto. Di giorno in giorno la forma e i dettagli dell'evoluzione appaiono più chiari, più solidi, più certi.

L'albero genealogico del cavallo

La vita dunque ha scritto nelle rocce la sua autobiografia; alcune parti mancano, alcune non sono state trovate, altre sono irraggiungibili; ma se alcune sono più o meno deteriorate, altre però — per disgrazia non molte — sono in buono stato. Prendiamo una di queste pagine e leggiamola: vi avverto che è una pagina che dura — anno più anno meno — cinquanta milioni di anni. Questa pagina ha per titolo: *il cavallo*.

Ma prima di incominciarne la lettura, guardiamo con un po' di attenzione un cavallo nostro contemporaneo, abitatore della steppa aperta e cespugliosa; guardiamogli le zampe e — come fa qualsiasi persona prima di comprare un cavallo — apriamogli la bocca e guardiamogli i denti. Cominciamo dalle zampe: come sono le zampe di un cavallo? Voi mi direte che esse sono nervose, sottili e adatte alla corsa e questo va bene; ma la caratteristica principale è il piede: il cavallo poggia sul suolo con un sol dito, fortissimo e munito di duro zoccolo. È il vero piede che ci vuole per correre velocemente sulla dura terra.

DENTE DI CAVALLO

E i denti sono proprio i denti che ci vogliono per masticare le erbe tenaci di cui l'animale si nutre. Prima di tutto un cavallo non ha premolari e molari ma soltanto molari (i premolari sono quei denti addetti alla masticazione che hanno dei predecessori nella dentizione di latte, i molari invece non hanno predecessori); questi molari poi hanno una superficie molto complicata: in essi quelle sporgenze della superficie che si chiamano tubercoli sono modificate fino ad assumere l'aspetto indicato dalla figura: essi sono proprio come macine da mulino in miniatura:

DENTE DI CAVALLO

alti, a sagoma quadrata e con pieghe dello smalto a pennacchi e mezze lune. (Tanto per curiosità, vi dirò che molari di questo tipo si chiamano « selenodonti »). I denti del cavallo, perciò, sono meravigliosamente adatti al suo nutrimento.

Ciò premesso, leggiamo rapidissimamente quella non breve pagina del libro della vita.

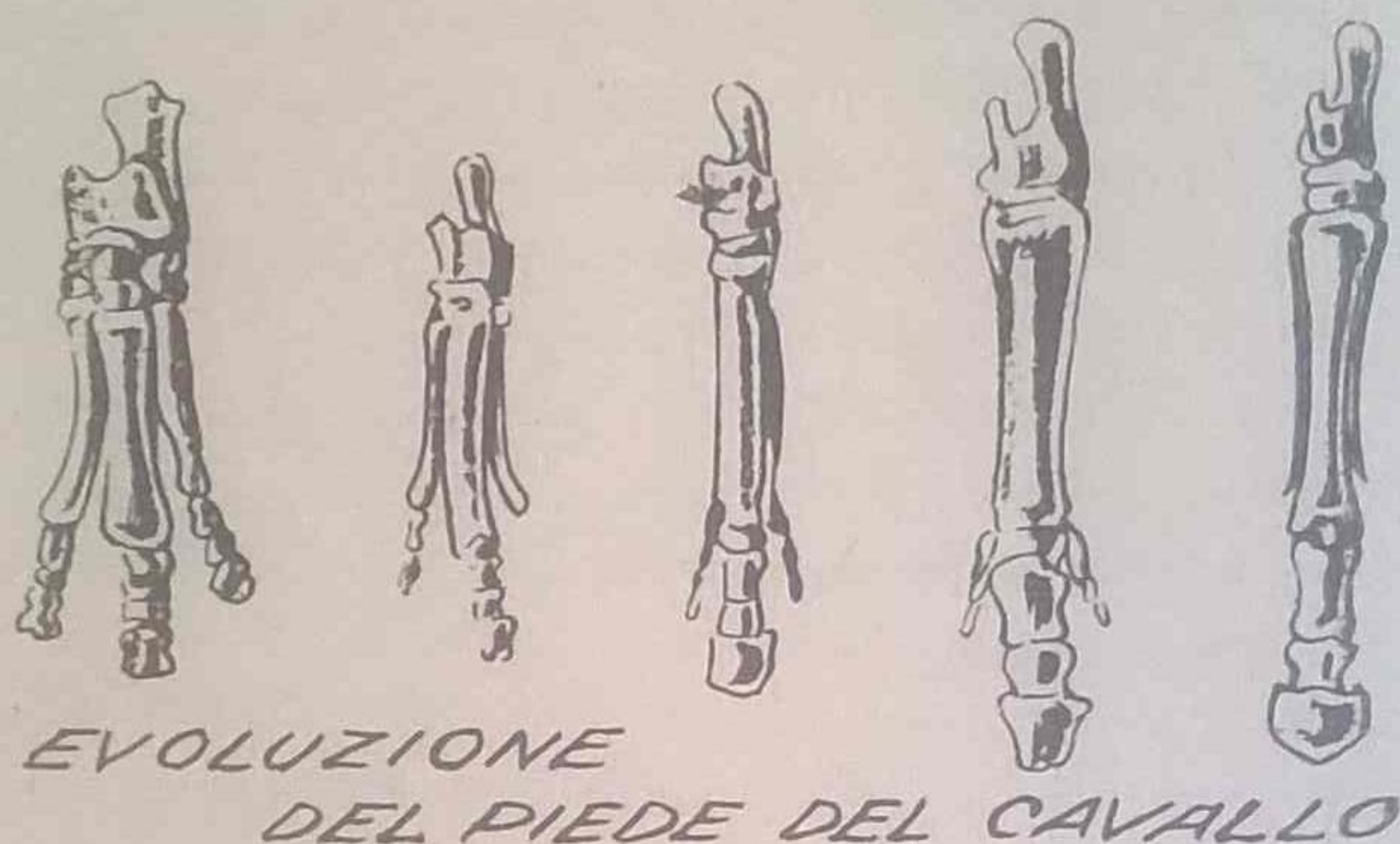
Circa cinquanta milioni di anni fa esistevano diverse specie di mammiferi ungulati (cioè con zoccolo), tutti con cinque dita; tra queste, la specie meglio conosciuta è il *Phenacodus*, il quale però presentava anche alcuni caratteri propri dei carnivori. Questo animale era grande quasi quanto uno stambecco moderno ed era provvisto di zampe brevi e di lunga coda. I denti erano normali (niente macine da mulino, per intenderci). Il piede aveva le sue cinque dita ma l'animale non era un vero plantigrado perchè il primo e il quinto dito erano così corti da non raggiungere il suolo; il dito medio poi era nettamente più forte degli altri e costituiva il principale sostegno del corpo. Perciò questo Phenacodus è considerato il precursore comune di tutti gli imparidigitati i quali poi vanno lentamente differenziandosi. (Vi ricordo che negli ungulati imparidigitati l'asse del corpo passa per il dito medio, che ne diventa così il principale sostegno).

PIEDE DI PHENACODUS

Continuiamo a leggere — un po' in fretta — la nostra pagina. Ecco, circa 45 milioni di anni fa, presentarsi, tra gli ungulati imparidigitati, un animale che è stato chiamato *eohippus*, forse trascurabile per le sue dimensioni — era poco più grande di un gatto — ma molto interessante per i suoi piedi: come vedete, i piedi sono, qualche volta, oggetti molto importanti. Dunque il piede anteriore dell'eohippus ha soltanto quattro dita sviluppate, mentre il quinto dito è ridotto a un semplice rudimento; il piede posteriore invece ha addirittura soltanto tre dita.

Passano qualche cosa come cinque milioni di anni ed ecco l'*orohippus* con quattro dita davanti e tre dietro (seguite la

figura e avrete una visione chiara delle progressive trasformazioni di cui stiamo parlando). Già i premolari poi somigliano ai molari e già hanno cominciato a rassomigliare a piccole macine.

EVOLUZIONE DEL PIEDE DEL CAVALLO

Viene poi terzo, circa 33 milioni di anni fa, l'*epihippus* che ha ancora quattro diti dei quali però il quarto è ancora più piccolo e il centrale più grande. Ed ecco — 30 milioni di anni fa — il *mesohippus*, il primo cavallo con tre dita che poggiano tutte al suolo; per circa dieci milioni di anni questo animale — del quale si conoscono non meno di diciotto specie — corre per le pianure e si nutre d'erba, masticandola con i denti molari, che incominciano a rassomigliare a quelli di un cavallo moderno.

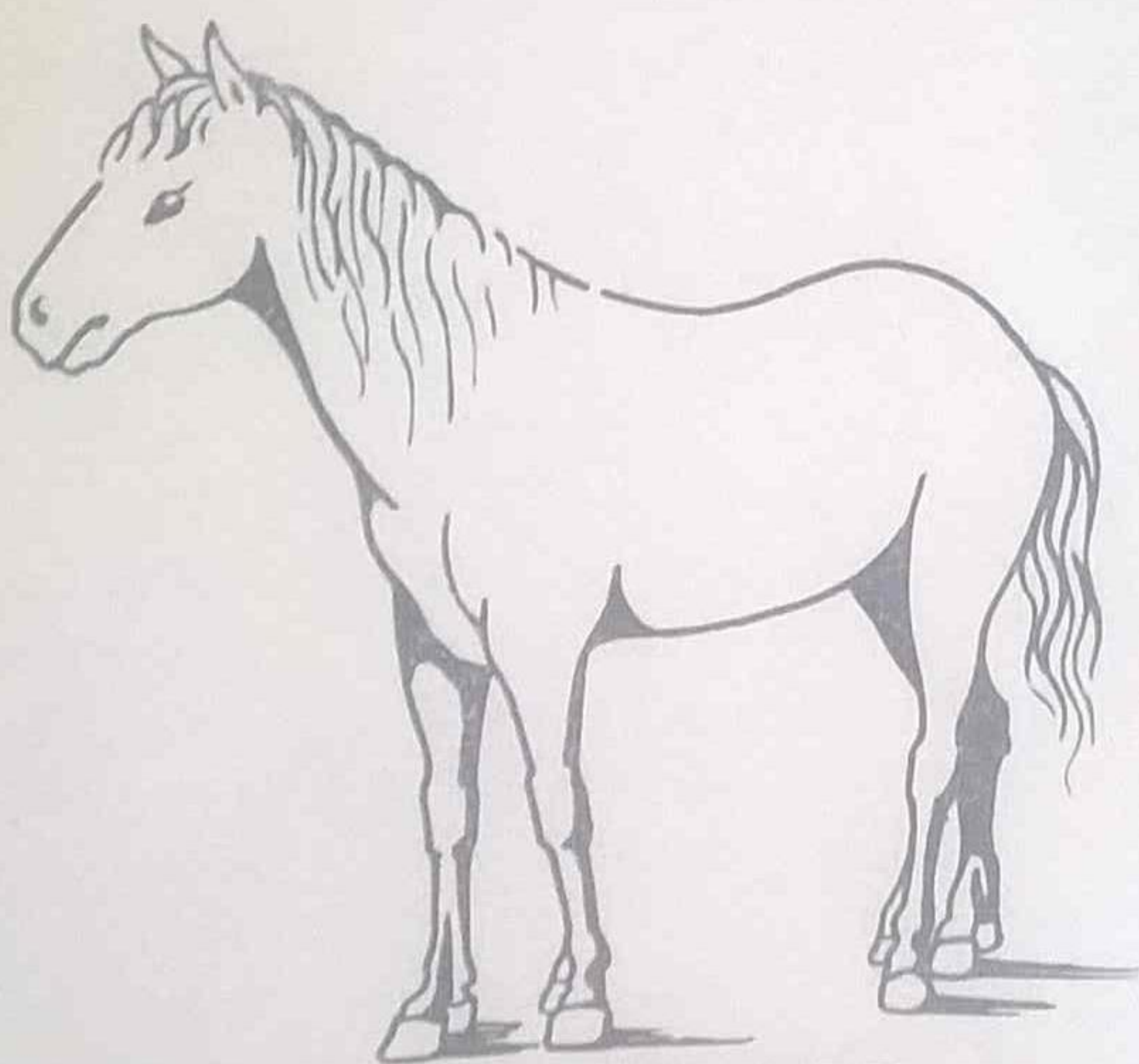
E poi il *miohippus* — 18 o 19 milioni di anni fa — di dimensioni maggiori (raggiunge la grandezza di una pecora); e il *parahippus* che appare circa 17 milioni di anni fa e, due milioni di anni più tardi, il *merychippus*, che inizia, per così dire, la serie dei cavalli moderni perchè delle sue tre dita soltanto quello centrale tocca il suolo; e fino a circa dieci milioni di anni fa si trova questo animale, le cui dimensioni hanno ormai raggiunto quelle di un piccolo pony. Ecco poi il *pliohippus* che è il più antico genere con dita laterali molto ridotte [1] e con i premolari definitivamente sostituiti dai molari.

[1] Del resto ancora oggi non è raro trovare tra i nostri cavalli individui i quali hanno nel piede anteriore, e talora anche nel posteriore, uno o due diti laterali; è un evidente caso di atavismo: la figura a pag. 497 vi mostra uno di questi cavalli.

TAVOLA XXIII

Sopra: un piccolo scimpanzè (*Keistone*). Sotto: un giovane gorilla maschio.

E, finalmente, mezzo milione di anni fa, ecco il nostro cavallo, le cui prime specie sono però più piccole e con i denti più semplici.

Ecco come, attraverso milioni e milioni di anni, il piccolo animale che noi, uomini moderni, abbiamo battezzato *eohippus*, è andato trasformandosi nel forte e veloce cavallo che pascola e galoppa nelle distese aperte.

PIEDE ANOMALO DI UN CAVALLO MODERNO

Ho fatto scorrere dinanzi a voi l'albero genealogico del nostro cavallo; devo però avvertirvi che l'abbiamo percorso molto velocemente e tenendo fermo il nostro sguardo soltanto sul tronco di questo albero; ma da una parte e dall'altra di esso vi sono rami che si intrecciano e si ramificano ancora; rami che hanno portato a specie che hanno vissuto, si sono a loro volta trasformate e si sono poi estinte. Ma noi non ce ne occuperemo; ho voluto soltanto dirvelo perchè comprendiate quanto siano complessi e numerosi gli aspetti della natura e di quanta pazienza e perseveranza abbia bisogno chi si china a scrutarli.

Voglio aggiungere ancora una cosa; i nomi che avete letto

32 - AMALDI

costituiscono la serie degli equidi americani; e ho dato la serie americana perchè è più ricca di quella europea. Inoltre dallo studio e dal confronto tra le due serie di equidi si è giunti alla conclusione che gli equidi, originatisi in America, per ben tre volte sono emigrati in Europa; il passaggio è avvenuto attraverso le regioni nord-atlantiche nei periodi di grande regressione dei mari. Ma ogni invasione è stata seguita, prima o poi, da una completa estinzione. L'immigrazione più recente invece ha avuto conseguenze opposte: quelli che erano rimasti nei luoghi di origine si sono estinti, mentre i discendenti degli immigrati hanno sopravvissuto; ecco perchè durante il quaternario non troviamo equidi nel nuovo mondo mentre ne troviamo in Europa. Dopo la scoperta dell'America i coloni europei vi introdussero di nuovo questi animali che tornarono così alla loro antichissima patria; e vi hanno rapidamente prosperato ritornando nello stato semiselvatico. Come bene immaginate, queste emigrazioni, per le quali i figli non abitano più le stesse regioni dei padri, contribuiscono a confondere le idee e mettono ancora a più dura prova la pazienza e la perseveranza dei ricercatori.

Passo passo abbiamo seguito il progressivo evolversi di questa razza degli equidi; abbiamo letto così un avventuroso racconto. Vi ho detto che questa è una delle pagine meglio conservate del libro della vita. Ma ve ne sono altre, altrettanto in buono stato: vi è quella del *micraster*, un invertebrato marino (e precisamente un echinoide irregolare), che si segue con assoluta continuità per più di quattro milioni di anni; quella degli elefanti, del cammello ecc. Sono racconti che non leggeremo insieme, ma che sono stati pazientemente decifrati e che vanno ogni giorno arricchendosi di nuovi particolari.

Un fatto e diverse teorie

E così il meraviglioso albero della vita è andato crescendo da radici che affondano in un lontanissimo passato; e, crescendo, ha moltiplicato le sue biforcazioni e i suoi rami fino a giungere

a quella meravigliosa abbondanza e varietà di forme che caratterizza la vita di oggi, intorno a noi. La vita cioè è andata evolvendosi da forme enormemente più semplici fino a tutti gli organismi viventi che noi oggi contempliamo, passando attraverso una grande varietà di specie.

Che ci sia stata questa evoluzione è oggi — come vi ho detto — una certezza. E una volta ben stabilito questo fatto certo, ci inoltriamo ora in acque ancora tempestose. Perchè abbiamo finora detto che l'evoluzione è avvenuta — e tutte le prove portano a questa conclusione — che cioè la vita è giunta al multiforme aspetto attuale attraverso modificazioni avvenute anno per anno, secolo per secolo, èra per èra; ma non abbiamo ancora parlato di una *spiegazione* di questa evoluzione; non ci siamo ancora chiesti *come* essa sia avvenuta. Ed è qui che le acque si intorbidano; perchè per spiegare questo « come », per spiegare cioè il *metodo dell'evoluzione*, vi sono diverse teorie, tra le quali la scienza sta ancora oggi cercando la sua via.

L'esistenza dell'evoluzione è un fatto, i tentativi di spiegazione del « come » e del « perchè » dell'evoluzione sono teorie; molti confondono ancora quel fatto — accertato e accettato — con queste teorie; ed è questa la ragione di tante dannose e inutili discussioni.

Voglio infine aggiungere due parole per coloro che temono che l'accettare questo accertato fatto dell'evoluzione possa essere in contrasto con la loro fede in un Supremo Creatore; non possiamo forse sempre pensare che le leggi naturali che hanno determinato l'evoluzione siano state poste da una Mente Suprema e che l'evoluzione stessa non sia che il graduale estrinsecarsi di un disegno divino? Siamo qui nel campo della fede nel quale la scienza non può e, naturalmente, non intende inoltrarsi.

La selezione naturale

E ora potrei — forse dovrei — porvi dinanzi in bell'ordine le varie teorie dell'evoluzione, anche quelle che si mantengono sul terreno filosofico. Potrei farle scorrere dinanzi a voi

in ordine cronologico, cominciando da quella che il botanico cavaliere di Lamarck propose nel 1809. Ma penso che non sia il caso di farlo in un libretto così generico quale è questo. Mi limiterò a farvi poche chiacchiere ben sfrondate. Se tutto ciò vi interessa, troverete altri libri di ben più vasta portata e ben più rigoroso contenuto. Per ora certamente vi accontenterete di quanto andrò qui dicendovi.

Se ci chiediamo quale è l'occupazione principale di tutti gli esseri viventi (dico « tutti » e comprendo in questo « tutti » anche l'uomo), dobbiamo confessare che è la caccia al cibo; e non una caccia puramente sportiva: dal suo risultato dipende la vita del cacciatore. Non tutti riescono sempre a coronare la caccia con il successo; i più deboli, i meno dotati soccomberanno. Fortunatamente in questa lotta per l'esistenza vi sono pochi vincitori e moltissimi vinti.

Mi tacciate di crudeltà per quel mio « fortunatamente »? Ma non è questione di crudeltà, è questione di aritmetica. Avete mai pensato che cosa accadrebbe se tutti gli ovuli prodotti dalle piante e dagli animali — che alcune volte sono centinaia e anche migliaia — giungessero tranquillamente all'individuo completo? Immaginate che putiferio in un mare e su una terra completamente saturi? Si creerebbe una situazione assolutamente insostenibile. Ecco perchè, senza ombra di crudeltà, ho detto « fortunatamente ».

Questa lotta si estende a tutta la vita di un essere vivente; ed è una lotta quasi sempre incosciente. I semi che cadono da una pianta muoiono in gran parte o perchè non cadono in terreno adatto o perchè la luce non è sufficiente al loro sviluppo o per infinite altre ragioni; naturalmente il seme non compie alcuno sforzo cosciente per vincere in questa lotta; ma essa esiste e può portarlo alla morte o alla sopravvivenza.

Un gatto che uccide un topo, un uccello che becca un seme, un parassita che distrugge una pianta, un ciclone che fa un'ecatombe dei più vari animali e piante, un incendio che brucia una foresta con tutta la sua popolazione, un'ondata di freddo, un terremoto, un'eruzione, una pestilenza... di quante armi si serve la natura per impedire il sopravvivere di tanti esseri viventi?

Già nel secondo di questi libri ho parlato della selezione

naturale e delle mutazioni; ne riparleremo ora un po' più a lungo entrando in maggiori dettagli: ora che il nostro bagaglio si è arricchito di quell'arma potente che è la genetica.

Dunque per mezzo di una lotta implacabile, la natura opera una selezione continua. Se c'è un topolino più veloce degli altri, quasi certamente esso riuscirà a sfuggire a tutti i gatti che il destino pone sul suo cammino, crescerà tranquillamente, metterà al mondo altri topolini e morrà a tarda età; dall'incendio della foresta si salveranno — che so io? — gli animali con l'odorato più fino, quelli che si accorgeranno per primi dell'odore insolito; l'ondata di freddo risparmierà gli animali ricoperti da un pelo più folto, eccetera. Per mezzo della lotta per l'esistenza, la natura seleziona gli individui migliori i quali potranno giungere così al momento della riproduzione; e i figli, ai quali essi avranno trasmesso quella loro qualità, saranno ancora favoriti e vincitori.

Un altro esempio? Eccolo: i negri delle Indie Occidentali sono più resistenti dei bianchi a quella terribile malattia che è la febbre gialla; e questo è dovuto al fatto che quelle popolazioni furono a lungo mietute da questa malattia; i superstiti furono naturalmente quelli che erano più resistenti alla febbre gialla; e costoro hanno trasmesso questa resistenza ai figli e ai figli dei figli. Per la stessa ragione la tubercolosi è più fatale tra le popolazioni non civilizzate che fra i popoli civili, tra i quali ha già mietuto in passato numerosissime vittime. La storia delle malattie infettive (vaiolo, peste, ecc.) si spiega soltanto se si ammette che, a causa di terribili epidemie, si siano selezionate razze umane più resistenti in quelle zone che furono soggette alla infezione.

Naturalmente se tutti gli esseri viventi di una stessa specie fossero esattamente eguali, la selezione naturale non potrebbe lavorare (perdonatemi l'espressione): se tutti i topi avessero esattamente la stessa velocità, la stessa astuzia, lo stesso udito, ecc., non vi sarebbe nessun preferito nella lotta per l'esistenza. La sopravvivenza dell'uno piuttosto dell'altro dipenderebbe esclusivamente dal caso; i topolini figli sarebbero ancora tutti esattamente eguali. In tanta esasperante uniformità, la selezione naturale non avrebbe alcuna presa.

Ma gli esseri viventi sono tutt'altro che eguali; ogni indi-

viduo presenta qualche variazione rispetto ai suoi genitori: se questa variazione è favorevole nella lotta per l'esistenza, la selezione naturale permette che l'individuo giunga allo stato adulto e si riproduca trasmettendo questo carattere a qualcuno dei figli. Se invece la variazione è sfavorevole alla lotta (per esempio un topo meno veloce, un aquilotto con la vista più debole...) l'individuo viene ben presto eliminato; non si riprodurrà e quindi non trasmetterà ad altri animali quella variazione dannosa.

Fu l'inglese Carlo Darwin che nel 1837, — di ritorno da una esplorazione nell'America del Sud, durante la quale aveva accumulato un ricco materiale sulla fauna delle isole Galapagos, del continente e degli strati geologici — ebbe l'idea dell'azione che la selezione naturale opera per mezzo della lotta per l'esistenza.

In definitiva perciò possiamo paragonare l'azione della selezione naturale a quella di un filtro, il quale lascia sopravvivere e riprodurre soltanto gli organismi meglio dotati; i figli di questi sono anche essi variabili ma, avendo ereditato in parte le qualità del genitore, variano entro limiti un poco spostati verso il migliore adattamento; continuando la scelta per molte generazioni, il tipo finisce per modificarsi, naturalmente nel senso di un adattamento migliore.

La selezione naturale quindi favorisce i meglio dotati e lascia soccombere gli altri: dobbiamo per questo tacciare la natura di crudeltà? Ma no! La colpa ricade, al solito, sulla aritmetica.

La selezione naturale è quindi un filtro che elimina quegli organismi che nascono meno adatti dei genitori alla lotta per l'esistenza; è una potente forza stabilizzatrice che tende a portare e a mantenere gli individui a un livello *optimum*. Ma, come sappiamo, tutto ciò accade finchè l'ambiente rimane costante: ma se l'ambiente varia, quello che era finora il tipo ideale non lo è più e la selezione naturale lavora ora a renderlo adatto alle nuove condizioni.

La variazione dell'ambiente produce anche una scelta tra le diverse specie e le diverse varietà di esseri viventi che popolano una zona. Di una certa specie di zanzare (e precisamente, se vi interessa, l'*Anopheles maculipennis*) esistono ben sei varietà, cia-

scuna delle quali ha le sue particolari esigenze e le sue particolari preferenze: una ama pungere esclusivamente l'uomo, un'altra punge indifferentemente l'uomo o il bestiame, una terza preferisce nutrirsi su animali e si sacrifica a pungere l'uomo proprio quando vi è quasi costretta dal continuo contatto (come nelle stalle), altre due evitano di pungerlo perfino in queste favorevolissime condizioni, la sesta infine mostra una netta, invincibile repugnanza a pungere l'uomo. Ciò premesso, vi dico subito quali sono stati i risultati degli studi di uno scienziato che ha seguito la storia della malaria nella campagna romana nei periodi preromano, repubblicano, imperiale, medioevale e della rinascenza. Immaginavate mai che si potesse fare uno studio di questo genere?

Dunque questo studioso è giunto alla conclusione che la distribuzione della malaria è in rapporto a certe condizioni del suolo. Accade precisamente questo: in un terreno malarico, quelle sei varietà di zanzare di cui parlavamo prima, sono tutte presenti; però, naturalmente, sono prevalenti quelle particolarmente adatte a vivere in quell'ambiente; e, disgraziatamente, sono proprio quelle che amano tanto pungere l'uomo. Ma quando questo terreno viene bonificato — il che, in ultima analisi, vuol dire quando vengono smossi i cloruri dalla superficie del suolo — la regione non è più adatta allo sviluppo di quelle zanzare... antropofaghe, mentre invece diventa adatta allo sviluppo delle altre varietà che amano il bestiame molto più dell'uomo; perciò queste varietà vengono poco per volta a sostituire quelle, fino a giungere a costituire la quasi totalità della popolazione delle zanzare.

Questa sostituzione di zanzare non è però l'unico cambiamento che avviene nelle regioni bonificate; cambiano la fauna e la flora: scompaiono molti uccelli acquatici e vengono sostituiti da passeracei, scompaiono i grilli e compaiono le mosche domestiche, scompaiono le piante graminacee e vengono sostituite dalle felci.

Così la selezione naturale ha un'azione conservatrice finchè le condizioni ambientali rimangono immutate ma lavora in determinate direzioni quando queste condizioni mutano.

Ma la selezione naturale non spiega l'evoluzione. A causa della evoluzione vengono *create* nuove specie: gli equidi perdono (lentissimamente) quattro dita restando con un sol dito fortissimo munito di zoccolo e acquistano molari speciali, alcuni rettili acquistano ali e piume e si trasformano in uccelli, ecc. Ma la selezione naturale non è una forza creativa; essa ha soltanto un'azione passiva, è una semplice valvola: si presenta una variazione utile e adatta all'ambiente? Ben accolta, passi pure! Si presenta una variazione dannosa? La valvola si chiude e la variazione viene soppressa.

La forza creativa (in questo senso speciale) non sta nella valvola, sta nelle variazioni. Che origine hanno queste variazioni (tra le quali la selezione naturale farà poi la sua scelta) che rendono l'uno un po' diverso dall'altro individui appartenenti alla stessa specie? Variazioni che — badate bene! — devono essere ereditarie.

Se io, che ho la muscolatura più o meno eguale a quella di mio fratello, mi metto a fare il boxeur, avrò, di qui a qualche anno, una muscolatura molto più potente (oltre al naso rotto e molti denti di meno); sarò variato rispetto a mio fratello. Ma questa variazione non è affatto ereditaria: se a quei tempi avrò un figlio, esso non avrà una muscolatura più potente di quella che avrebbe avuto se fosse nato prima che io mi mettessi a fare quel dinamico mestiere. Il figlio di un pianista che, a furia di esercizio, abbia raggiunto una tecnica mirabile e una agilità sorprendente, dovrà, se vorrà fare il pianista, ricominciare a fare scale ed esercizi, proprio come aveva incominciato suo padre.

Variazioni di questo genere, cioè variazioni provocate da un uso più o meno intenso di alcuni organi, *non* sono ereditarie; non sono quindi queste le variazioni su cui lavora la selezione naturale.

Queste variazioni acquisite infatti interessano bensì alcuni tessuti — cioè, in definitiva, alcune cellule — dell'organismo, ma soltanto quelle cellule che sono mortali; esse infatti periscono

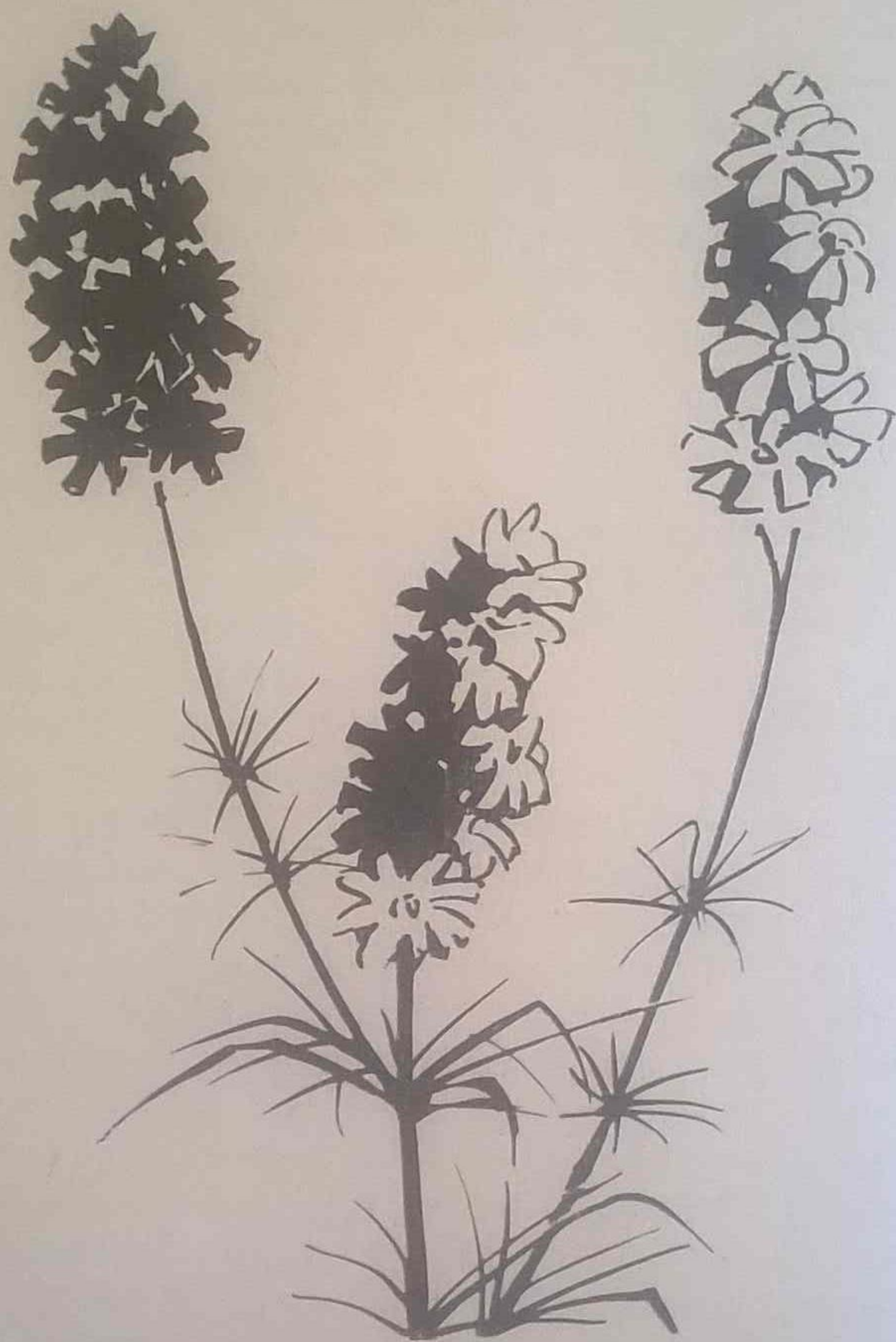
senza successori. Perchè le variazioni possano essere ereditarie, perchè cioè esse possano trasmettersi ai figli, è necessario che avvengano in quelle cellule che, sole, sono addette alla formazione del nuovo individuo: esse sono — ricordate? — quelle cellule germinali che, riproducendosi per meiosi, danno luogo ai gameti; questi gameti non muoiono con il corpo; essi si staccano prima e vanno, nei figli, a perpetuare la vita.

Le mutazioni

Dunque le variazioni utili ai fini dell'evoluzione sono soltanto quelle che interessano le cellule germinali.

Quando parlammo dei geni (quei qualcosa che sono allineati in un cromosomo come i grani di un rosario e che sono responsabili dei vari caratteri dell'individuo), li considerammo come qualche cosa di immutabile, che qualche volta esiste inavvertita nell'individuo, nascosta dall'azione dominante di un altro gene, ma che è sempre pronta a riemergere immutata. Ebbene, questa immutabilità ammette qualche rarissima eccezione.

Vicino alla città di Amsterdam, il botanico olandese De Vries osservava una pianta annuale molto diffusa, conosciuta comunemente col nome un po' volgare di « erba d'asino » (o, se volete il nome latino, *Oenothera Lamarkiana*); e notò che alcuni esemplari differivano per vari caratteri dalla maggioranza delle loro compagne. Si affrettò a isolarle e ad allevarle, evitando che potessero incrociarsi con altre diverse; ebbene, le loro discendenti erano del tutto simili: i nuovi caratteri erano ereditari. Il botanico suppose allora che per un processo, che egli chiamò di *mutazione*, dalle specie originarie nascessero improvvisamente, di tanto in tanto, alcuni individui con una costituzione diversa, i quali diventassero capostipiti di una nuova razza.

E questo fenomeno delle mutazioni si osserva in tutte le specie viventi, non soltanto nelle piante ma anche negli animali. In un laboratorio americano alcuni sperimentatori avevano seguito con scrupolosa attenzione la discendenza di una parti-

MUTAZIONI NELLE PIANTE

colare pulce d'acqua, la quale ha la proprietà di prosperare se la temperatura dell'acqua è mantenuta sui 20 gradi, ma muore se la temperatura scende al di sotto degli 11 gradi o supera i 26. Per quattordici anni si susseguirono 363 generazioni di pulci e tutte prosperavano intorno ai 20 gradi e morivano al di sotto degli 11 o al disopra dei 26. Ma improvvisamente ecco una pulce che, pur essendo apparentemente identica alle altre, ha la strana proprietà di trovarsi a suo completo agio a 27 gradi e di

tollerare perfino i 32 gradi. La purezza della razza, l'estrema attenzione con cui sono stati seguiti e studiati i caratteri di tante successive generazioni, escludono che possa trattarsi di qualche carattere recessivo che, improvvisamente, sia venuto alla luce. Siamo di fronte a un fenomeno del tutto diverso: in uno dei geni di un cromosomo delle cellule germinali di un individuo è accaduto qualche cosa; questo gene è mutato; e come conseguenza di questa mutazione, ecco apparire un figlio che presenta una caratteristica del tutto nuova.

Un gene viene improvvisamente mutato...; nulla di strano che a questo fenomeno sia stato dato il nome di « mutazione ».

Una mutazione quindi è l'improvvisa alterazione di un gene; e poichè questa alterazione interessa proprio le cellule germinali, essa sarà ereditaria; quella pulce d'acqua avrà figli che prospereranno a 27 gradi e tollereranno perfino una temperatura di 32 gradi.

Le mutazioni realizzano d'improvviso un tipo nuovo, senza che vi sia alcuna forma intermedia tra ciò che esisteva prima e ciò che si osserva dopo; alcune modificano la fertilità, altre fanno sparire le ali di un insetto o le zampe anteriori,di un cane, altre cambiano semplicemente l'orientazione di pochi peli...

Le mutazioni sono state studiate, in particolare, in quei moscerini delle frutta (Drosophila) che, come vi dissi, interessano tanto i biologi. Tra centinaia di individui normali, appare di

tanto in tanto un individuo mutato: ed ecco allora un moscerino con gli occhi di un colore diverso o con le ali più lunghe o più corte, o più longevo o più sensibile alla luce.

Mutazioni provocate artificialmente

Immagino che vorreste ora sapere da che cosa sono provocate queste mutazioni *spontanee*. Purtroppo non posso appagare la vostra curiosità perchè gli scienziati stanno ancora studiando e non sono finora giunti a un risultato definitivo. Essi però sono riusciti a provocare *artificialmente* un gran numero di mutazioni.

Nel 1927 un biologo del Texas, il quale dal 1919 lavorava sui soliti moscerini, trovò che, bombardando i maschi di questi animaletti con i raggi X, i figli presentavano le più varie mutazioni; egli riuscì a ottenere le forme più strane. E queste alterazioni si trasmettevano ai discendenti seguendo rigorosamente le leggi di Mendel.

Visto il grande successo delle ricerche con i raggi X, sono stati allora provati altri bombardamenti; ed è stato provato che possono produrre mutazioni tutte le radiazioni elettromagnetiche che hanno lunghezza d'onda compresa tra quella dei raggi X duri e quella della luce ultravioletta, gli elettroni, le particelle alfa (nuclei di elio) e i neutroni. Le ricerche vennero eseguite non soltanto su varie specie di Drosophila, ma anche su altri soggetti sia animali (vespa, baco da seta, topo) che vegetali (avena, orzo, frumento, tabacco).

RACCORCIAMENTO EREDITARIO DELLA CODA DI UN TOPINO

Queste ricerche, eseguite con ammirevole collaborazione da biologi di tutto il mondo, non hanno il solo scopo di riuscire a comprendere l'essenza del fenomeno della mutazione ma si

propongono anche di gettar luce con questo mezzo sulla struttura stessa dei geni, di quegli ancora sconosciuti *qualcosa* che si trovano in bell'ordine allineati nei cromosomi.

Le mutazioni e la selezione naturale

Come sappiamo, è proprio sulle mutazioni, cioè su queste variazioni ereditarie, che lavora la selezione naturale. Un molare che si presenti come una piccola macina da mulino proprio quando l'erba — per qualche ragione di clima — è diventata più dura, sarà di grande aiuto per l'animale erbivoro che lo possieda; la selezione naturale accoglierà questo molare con grande entusiasmo.

Le mutazioni avvengono a caso; la selezione naturale le sceglie e guida le variazioni nelle direzioni che sono imposte dalle particolari condizioni dell'ambiente. La vita propone nuove esperienze, la natura sceglie; per milioni e milioni di anni la vita ha sperimentato e proposto e la natura ha scelto.

L'uomo

Siamo quasi alla fine; e, per finire in bellezza, c'è qualche cosa di meglio che rivolgere il nostro sguardo all'uomo, dominatore della natura?

Non vi nascondo che mi piacerebbe molto mostrarvi in una luce eroica l'ingresso dell'uomo su questa scena che è il mondo; ma non posso perchè, in verità, le cose non sono affatto andate così; soltanto lentamente, molto lentamente, l'uomo è diventato signore e dominatore.

La sua storia ci è, al solito, raccontata dai fossili; essa è — specialmente per quel che riguarda i lontanissimi inizi — molto intricata e piena di lacune. Ci accontenteremo perciò

soltanto di dare una fuggevole occhiata a quel gruppo di mammiferi che può considerarsi l'antichissimo ceppo (antico di più di cinquanta milioni di anni) che ha dato origine all'uomo e agli altri primati [1]; e poi cominceremo la nostra storia da tempi più recenti... Naturalmente tutto è relativo: perchè cominceremo da una quindicina di milioni di anni fa.

Dunque quell'antichissimo ceppo è... il gruppo degli insettivori, bestiole della grandezza di un grosso topo, con un cervello veramente molto piccolo. Capite? Altro che ingresso eroico!

E da questo ceppo comincia la lunghissima catena; lasciamola scorrere e fermiamoci a quell'anello che porta la data: quindici milioni di anni fa.

A quei tempi — come forse ricorderete da quanto vi ho raccontato nel libro *La Terra* — la superficie terrestre non era affatto quale essa è oggi. In particolare il polo nord — che è andato lentissimamente spostandosi con l'andar del tempo — si trovava in posizione tale che l'equatore attraversava le regioni mediterranee, dal Marocco all'Asia Minore. Quindi una immensa fascia di clima uniforme, umido e caldo collegava l'Europa e l'Asia centro-meridionali. Da Gibilterra alla Palestina, all'Iran si distendeva una serie ininterrotta di foreste lussureggianti.

In queste foreste vivevano gli animali, lontanissimi antenati di animali moderni. E tra i lontanissimi progenitori degli ippopotami e degli elefanti, degli istrici e delle lepri... ecco una strana scimmia antropomorfa che non assomigliava nè all'orango nè allo scimpanzè nè al gorilla di oggi ma che riuniva in sè i caratteri che distinguono oggi l'orango, lo scimpanzè, il gorilla e anche l'uomo; i suoi denti, per esempio, somigliavano ai denti dell'uomo molto più di quanto non vi somiglino i denti di un

[1]) L'ordine dei primati comprende tre gruppi di mammiferi, gruppi che sono distinti ma che hanno diversi caratteri comuni: tra gli altri, essi hanno i pollici opponibili alle altre dita. Questi gruppi sono: i lemuridi, le scimmie, le scimmie antropomorfe e l'uomo.

I lemuridi sono piccoli animali che vivono sugli alberi; hanno il muso allungato, trentasei denti e braccia più corte delle gambe. Le scimmie hanno quasi tutte trentadue denti, la coda e camminano a quattro zampe. Le scimmie antropomorfe (o antropoidi) non hanno coda e si avvicinano molto all'uomo: esse sono il gibbone, l'orang-outan, il gorilla e lo scimpanzè.

orango o di uno scimpanzè o di un gorilla moderni. Resti fossili (in verità molto frammentari) di questo antropomorfo, che è stato battezzato *dryopithecus*, sono stati trovati in Francia, in Germania, in Egitto e in India.

E per molti milioni di anni questo dryopithecus visse e si riprodusse in quelle foreste lussureggianti.

Ma intanto il polo nord andava spostandosi verso la sua posizione attuale e, di conseguenza, anche l'equatore si spostava verso il sud. Le regioni mediterranee passarono dal clima umido e caldo a un clima tropicale: non più foreste lussureggianti, ma desolati deserti, separati da steppe e da lagune salmastre. Fu un periodo molto triste per quella antichissima fauna costituita dagli antenati di animali moderni. Essi si rifugiarono nelle foreste superstiti e, di conseguenza, si divisero in vari gruppi; in Asia rimasero più o meno nelle foreste originarie che continuavano a... lussureggiare per il piccolo spostamento subito là dall'equatore; in Africa alcuni seguirono lo spostamento delle foreste verso il sud; in Europa si trasportarono verso le regioni temperate.

E anche la stirpe del dryopithecus si frazionò: ed ecco che troviamo in Asia il *sivapithecus*, dal quale si sarebbe poi sviluppato l'orango, in Europa il *propliopithecus*, antenato del gibbone, in Africa l'*australopithecus* dal quale sarebbero venuti poi distinguendosi lo scimpanzè e il gorilla.

Intanto col passare dei millenni l'equatore continua a spostarsi, in modo che quella fascia che collega l'Europa e l'Asia centro-meridionali e che, all'inizio della nostra storia — cioè circa 15 milioni di anni fa — godeva di un clima umido e caldo, divenne una regione di clima temperato nella quale trovarono modo di adattarsi e di svilupparsi i residui della fauna antica.

Ma la tranquillità non è proprio di questo mondo; ecco sopraggiungere grandi oscillazioni di clima: i periodi glaciali e i periodi interglaciali. Millenni di clima umido e freddo si alternano a millenni di clima tropicale; grandi foreste si alternano ad aridi deserti; e gli animali che venivano a popolare quelle foreste erano poi costretti a emigrare di nuovo o a soccombere. Ondate di fauna fluivano e rifluivano... Per questo grandioso processo sono sorte le faune e le flore specializzate per particolari ambienti, le quali però hanno tutte la loro lontana origine in

quell'antica fauna e in quell'antica flora che, quindici milioni di anni fa, popolavano le lussureggianti foreste che si estendevano dalle rupi di Gibilterra alla lontana Asia.

Qualche molare e qualche pezzetto di calotta cranica

A tutto ciò parteciparono gli antichi antropoidi dai quali sono venuti distinguendosi da una parte le grandi scimmie antropomorfe — scimpanzè, gorilla, orango — e dall'altra l'uomo.

Avevamo deciso di occuparci, per finire, soltanto dell'uomo; vi chiedo perciò scusa di quel mio divagare tra foreste e deserti; ma non è pur sempre necessario — in qualsiasi storia o commedia — descrivere prima l'ambiente in cui essa si svolge?

I più antichi fossili sicuramente umani appartengono a quel periodo che va dai 540.000 ai 480.000 anni fa (si tratta proprio di ieri...) e sono stati trovati in Cina (e precisamente a Pechino), a Giava e nell'Africa Equatoriale. Questi resti fossili sono molto frammentari: qualche molare, frammenti di calotta cranica, femori...; ma questi pochi documenti, opportunamente e pazientemente studiati, dicono che già prima di 500.000 anni fa l'uomo esisteva in tipi molto somiglianti. Un uomo che aveva molte delle caratteristiche delle scimmie antropoidi: totale assenza del mento, volta cranica bassa, enormi archi sopraorbitali: ma... aveva stazione eretta, conosceva il fuoco e sapeva tagliare, se pure grossolanamente, la pietra e l'osso. Era molto più vicino allo scimpanzè che a qualsiasi delle razze umane odierne; ma sapeva fare ciò che nessuna scimmia è nemmeno capace di immaginare.

Questi documenti fossili oggi noti sono però ancora troppo pochi per potere ricostruire la precisa genealogia dell'uomo.

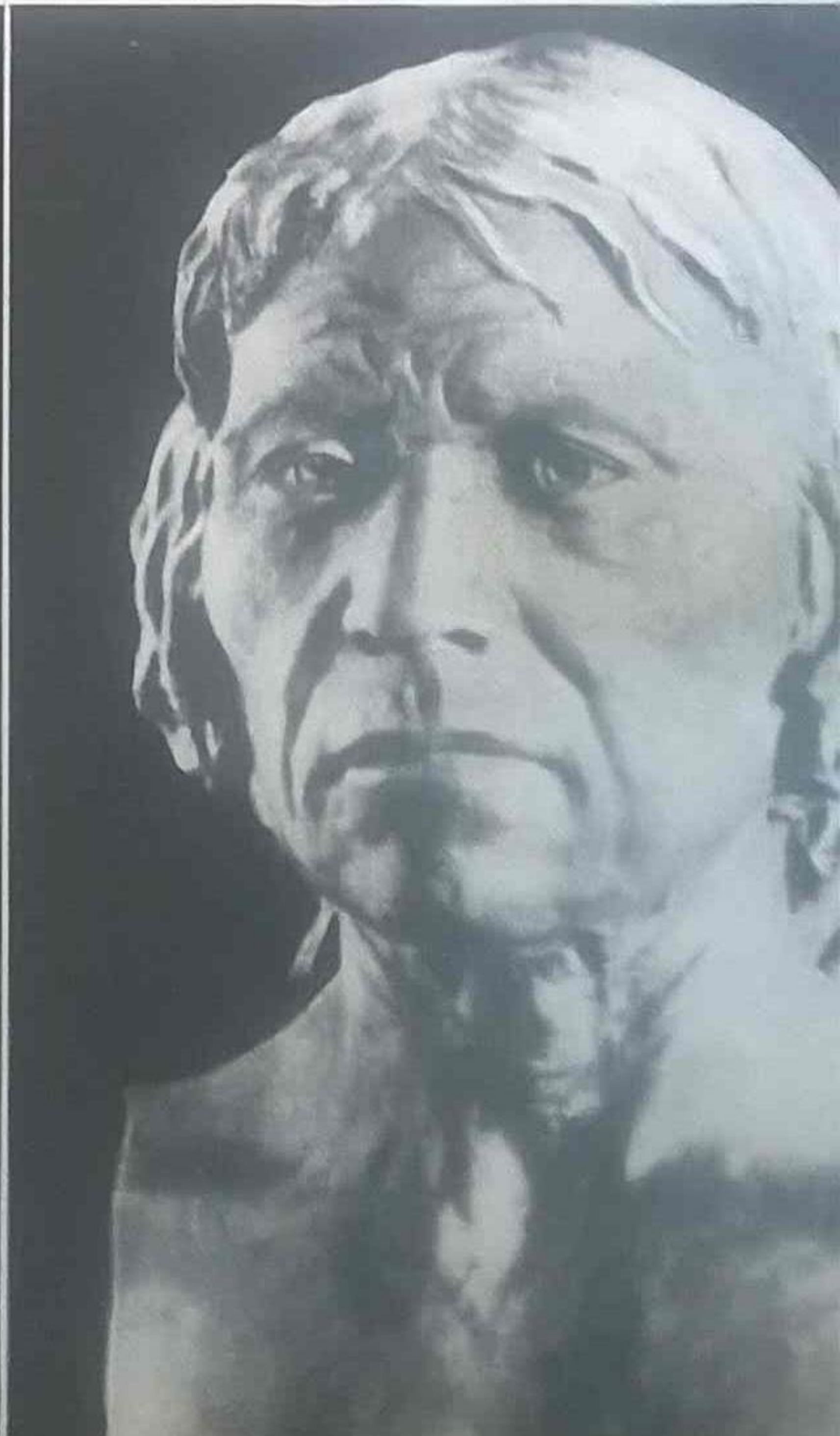
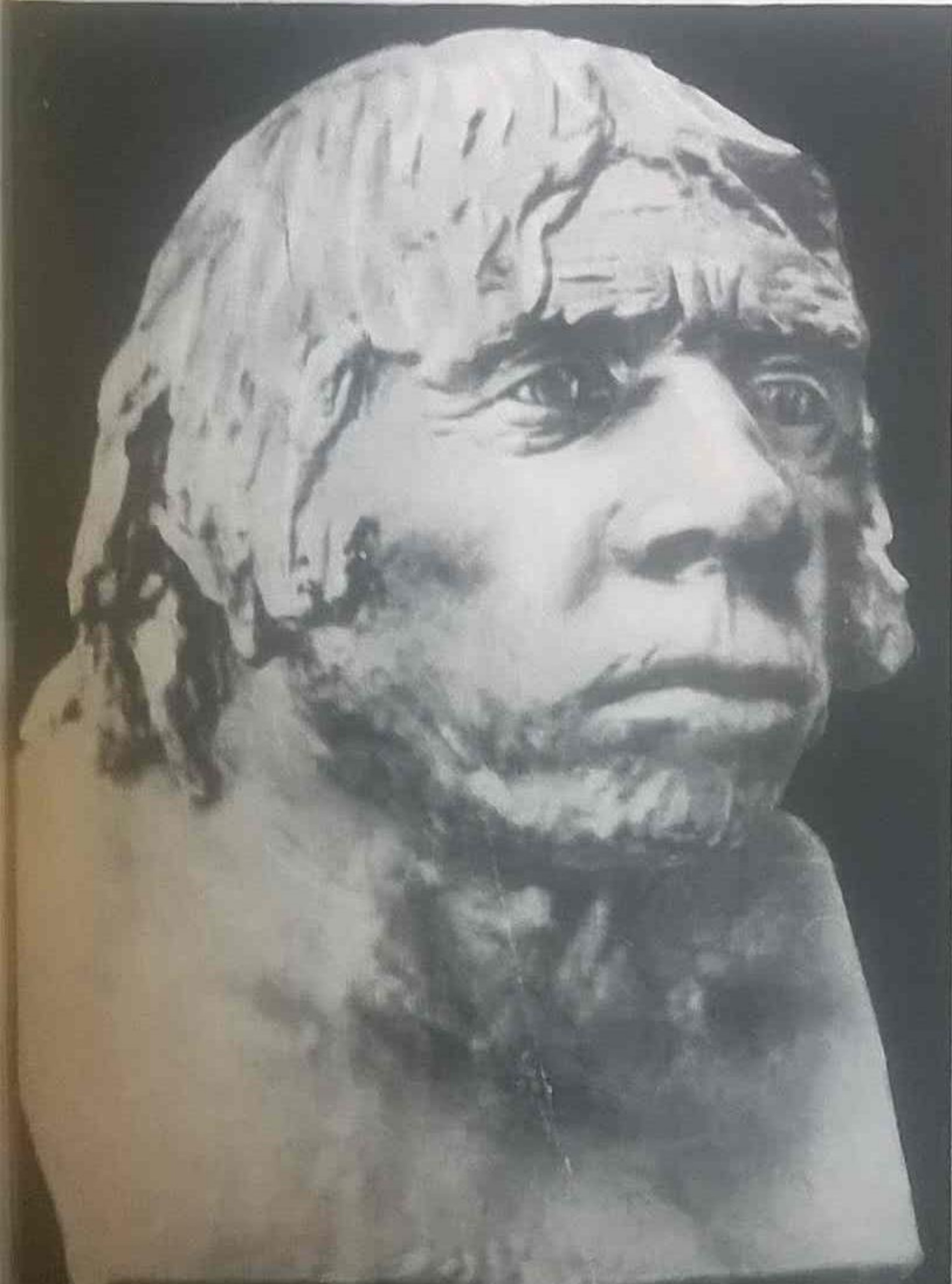
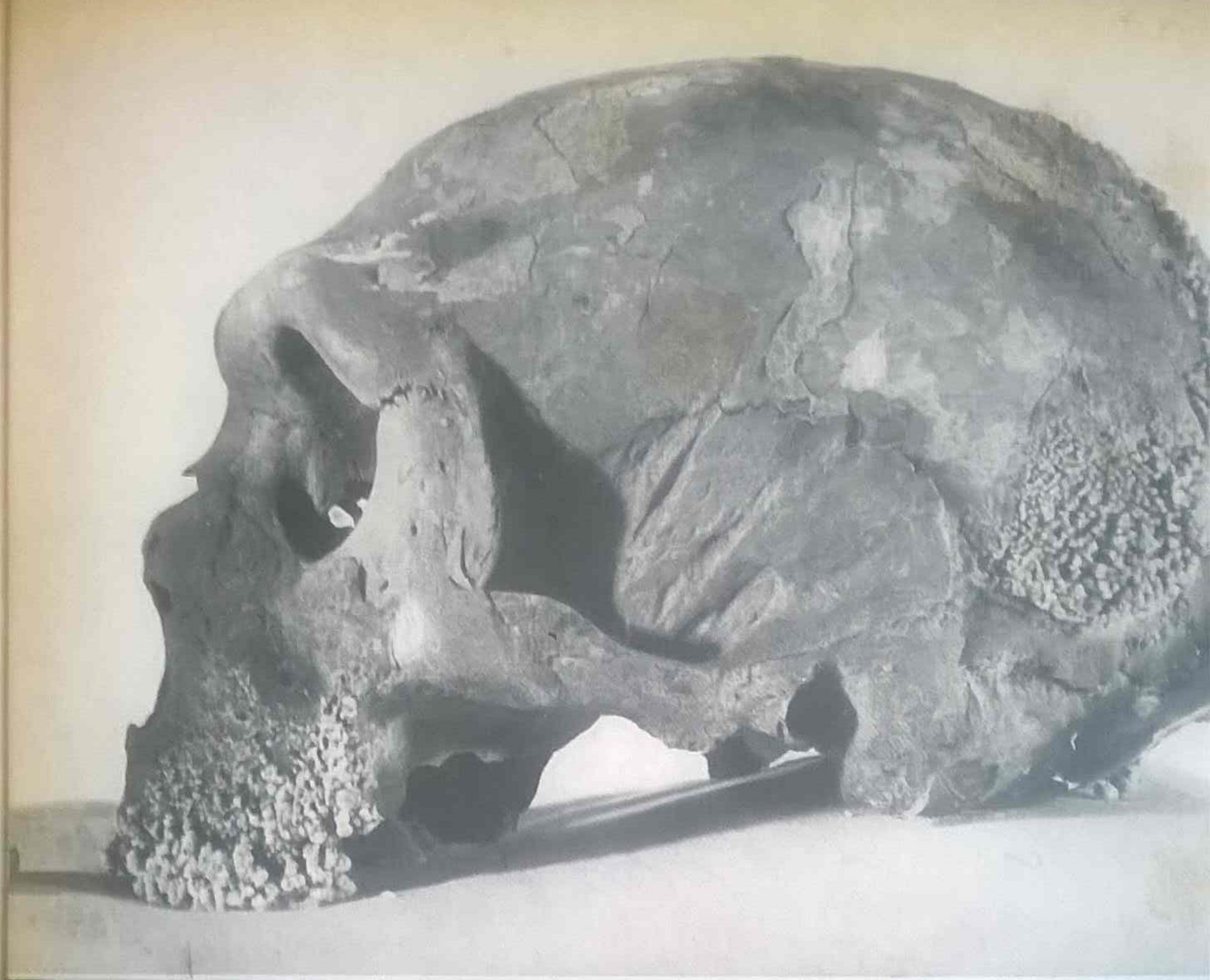



TAVOLA XXIV

L'uomo preistorico. Sopra: cranio dell'uomo fossile di Monte Circeo (*Vasari Foto, Roma*). Sotto: a sinistra, ricostruzione di testa dell'uomo della civiltà mousteriana (50-25.000 anni a. C.); a destra, l'uomo di Cro-Magnon (25-18.000 anni a. C.; *Delius, Parigi*).

In Europa

Ma torniamo in Europa, in quel periodo di tempo (che durò 250.000 anni) che precedette la penultima glaciazione; il clima era caldo, l'ippopotamo, il rinoceronte e l'elefante prosperavano e l'uomo non viveva in caverne.

Questi uomini sono stati, purtroppo, molto, troppo avari dei loro fossili; in realtà non se ne conoscono che due.

Il primo misero documento fossile è una mandibola che fu trovata presso Heidelberg (Germania) in una cava di ghiaia; per quanto sia umana per la sua forma generale e per la dentatura, essa si differenzia dalle mandibole umane sia per la totale assenza del mento che per le eccezionali dimensioni e la straordinaria robustezza. Mi direte che una mandibola è veramente troppo poca cosa: ma osservandola, studiandola, misurandola, gli specialisti hanno concluso perfino che l'uomo che la possedeva non aveva ancora un linguaggio articolato.

I secondi documenti furono trovati in Inghilterra e precisamente a Piltdown nel Sussex: pochi frammenti del cranio, una mandibola, un dente canino, un molare... I soliti, ammirevoli specialisti ci dicono che ci troviamo ora in presenza di un cranio il quale — prescindendo dall'enorme spessore della volta — é completamente umano: fronte alta e totale assenza delle arcate sopraorbitali; la mandibola invece è nettamente scimmiesca: senza mento e con un canino sporgente sugli altri denti. Tanto stranamente discordanti sono questo canino e questa mandibola che, in un primo tempo, si pensò perfino che così, per caso, si fossero trovati accanto il cranio di un uomo e la mandibola di una scimmia. Ma questa ipotesi dovette in seguito essere scartata.

È quasi certo quindi che in quella lontana epoca interglaciale esistessero, in Europa, due tipi di uomini più differenti tra loro di qualsiasi delle razze attuali: l'uomo di Heidelberg, con mandibola umana, e l'uomo di Piltdown, con cranio ampio ma mandibola scimmiesca.

Quindi già circa 500.000 anni fa era sorto, in punti estremi

dell'Eurasia centrale (in Cina da una parte e in Germania e in Inghilterra dall'altra), un certo numero di caratteri umani: stazione eretta, forma della dentatura, sviluppo cerebrale, fronte alta, mancanza di arcate sopraorbitali... Però questi caratteri umani non appaiono associati insieme così come essi si trovano nell'uomo di oggi; ma si trovano disseminati in vario modo, associati a caratteri propri degli antropoidi; l'uomo di Pechino aveva stazione eretta ma mancanza di fronte, l'uomo di Piltdown fronte elevata ma mandibola e dentatura scimmiesche.

Soltanto lentamente, attraverso lunghi processi di smistamento, questi caratteri umani andranno progressivamente separandosi dai caratteri propri degli antropoidi: finchè circa 120.000 anni fa si vedono comparire, finalmente liberi dai caratteri scimmieschi, quei più diretti ascendenti dell'uomo di oggi, nei quali i caratteri umani sono oramai ben definiti.

Sembra...; di quanti « sembra » è costellata questa storia! Sembra, dicevo, che l'uomo di Piltdown sia un ramo laterale, presto estintosi, dell'albero genealogico dell'uomo; e che invece l'uomo di Heidelberg sia una forma di passaggio tra le forme più antiche e una razza di uomini che per almeno 100.000 anni (da 120.000 a 20.000 anni fa) ha popolato l'Europa.

Si tratta di un tipo molto diverso da tutte le razze attuali; il primo resto fossile di questo tipo di uomo fu trovato in una grotta del vallone del Néanderthal, presso Düsseldorf, nella Prussia renana. Ecco perchè esso è stato chiamato l'uomo di Néanderthal. Ne sono poi stati trovati in tutte le regioni d'Europa; in Germania, in Francia, nel Belgio, in Spagna e in Italia (a Saccopastore, che si trova alle porte di Roma, e a San Felice Circeo).

Questo uomo di Néanderthal era piuttosto basso (in media metri 1.60), molto robusto con testa grossa e braccia lunghe: una faccia bestiale, fronte sfuggente e appiattita che termina innanzi in un forte rilievo a forma di visiera, cranio allungato e schiacciato, mandibola massiccia e senza mento; un insieme veramente molto ripugnante.

Dal luogo e dal modo in cui vengono trovati i resti fossili, si possono trarre, sulle abitudini di questi brutti signori, conclu-

sioni che a prima vista potrebbero sembrare suggerite dalla fantasia. Questi resti sono stati spesso trovati in caverne; e questo vuol dire non tanto che essi abitavano in caverne ma piuttosto che essi vi seppellivano i loro morti; anzi la posizione violentemente ripiegata di alcuni scheletri e l'atteggiamento delle membra fa pensare che essi legassero i cadaveri, proprio come, ancora oggi, fanno alcuni popoli selvaggi i quali legano i cadaveri per evitare che gli spiriti dei trapassati tornino tra i vivi a perseguitarli.

Gli uomini di Néanderthal (orrore!) praticavano il cannibalismo, forse un cannibalismo rituale, avente per oggetto particolare il cervello umano. Come facciamo a saperlo? È presto detto: sono stati trovati, in un giacimento, oltre 2000 ossa di animali, appartenenti a tutte le parti dello scheletro, insieme a undici crani e soltanto due tibie d'uomo: a tutti questi crani manca la regione basale e la mutilazione è analoga (se non proprio identica) a quella che gli odierni cacciatori di teste del Borneo eseguono sulle teste... cacciate per mangiare il cervello a scopo spirituale. Evidentemente quelle 2000 ossa, quegli undici crani e quelle due tibie umane sono stati spolpati e vuotati da uomini di Néanderthal.

RINOCERONTE

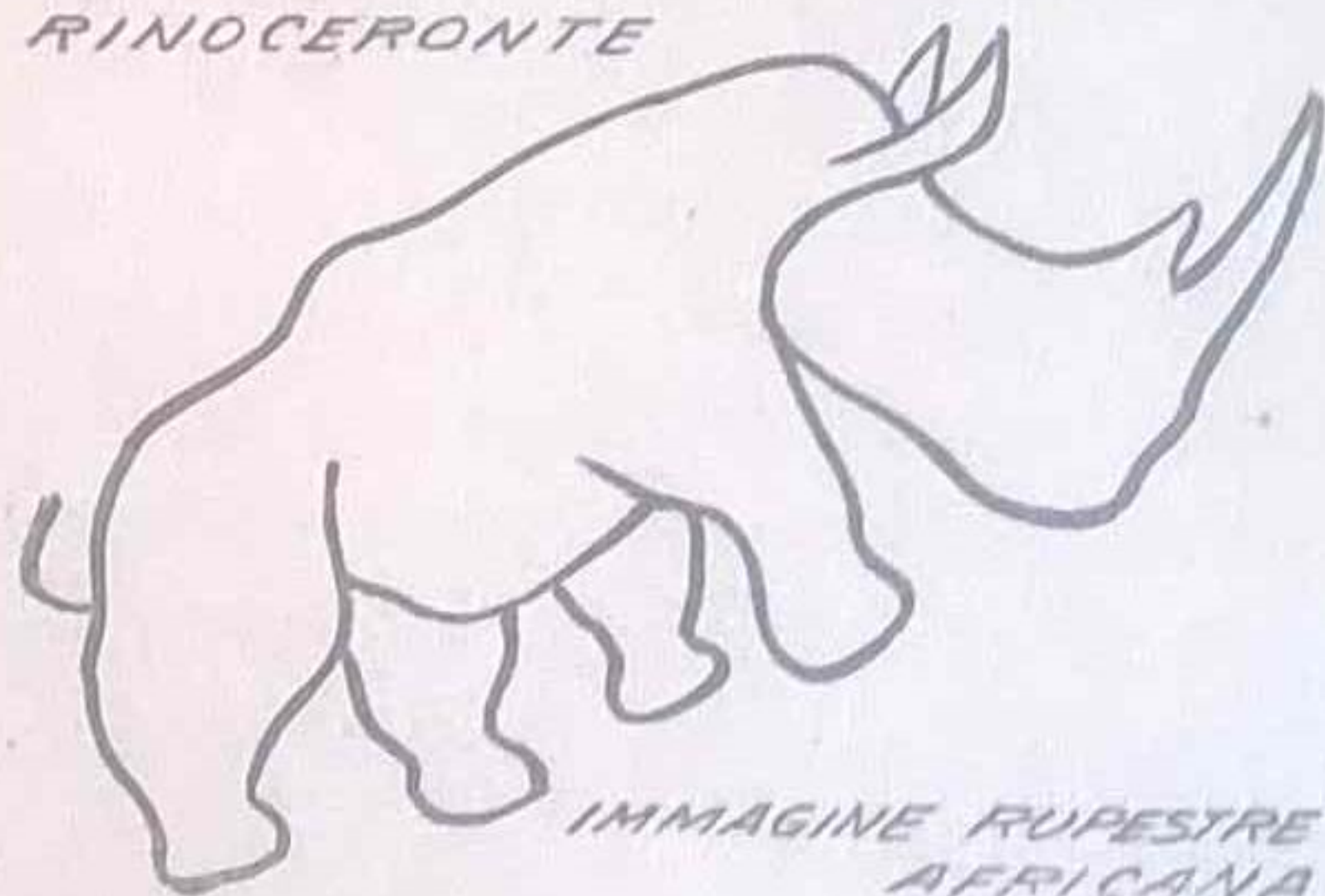



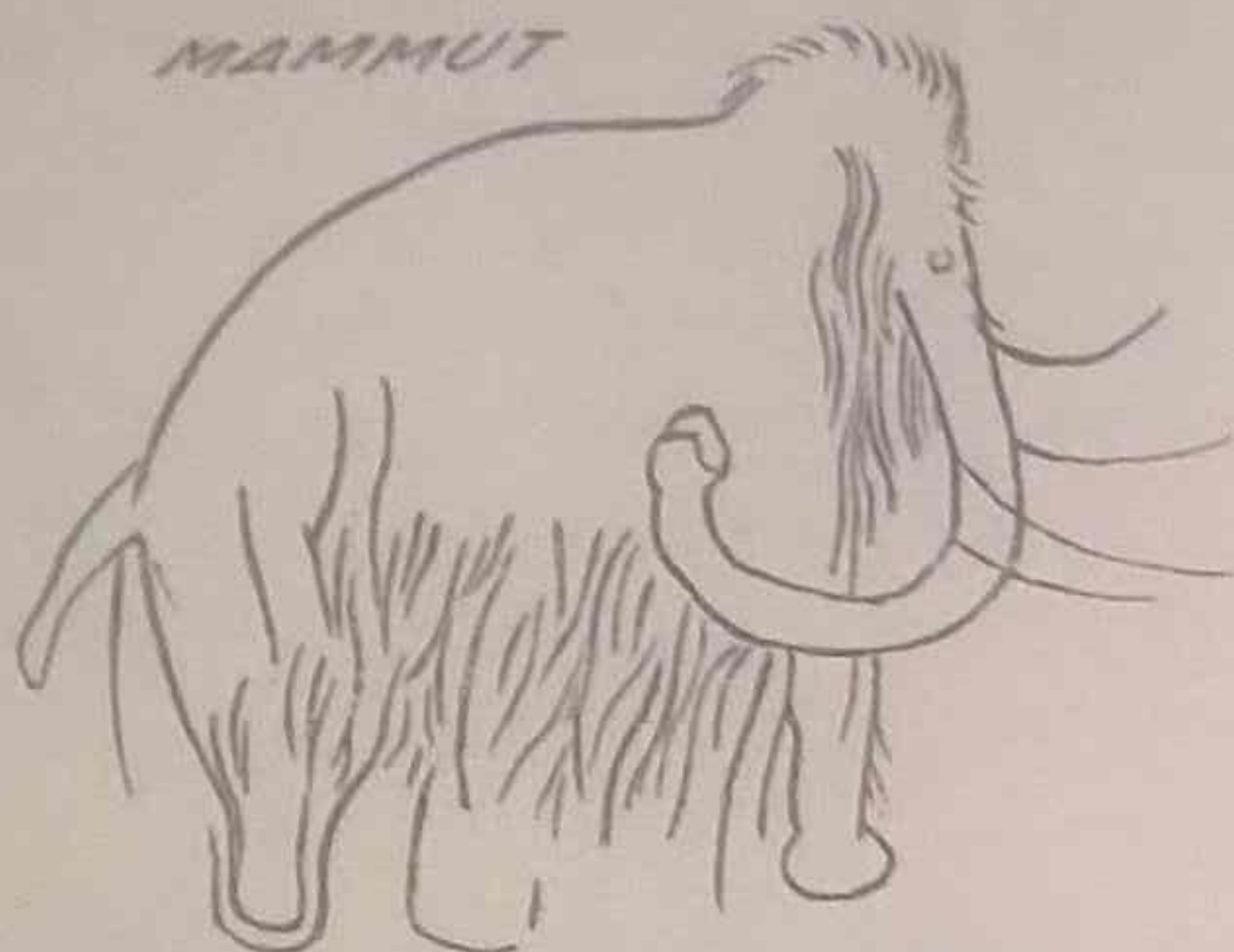
IMMAGINE RUPESTRE AFRICANA

Questi uomini, infine, avevano un rudimentale linguaggio articolato, usavano armi e strumenti di pietra.

L'uomo di Néanderthal, quindi, credeva a una sopravvivenza ultraterrena, ed era dotato di funzioni mentali già complesse ed elevate. Avreste mai immaginato che qualche scheletro e qualche pietra potessero raccontarci tante strane cose?

Questi uomini di Néanderthal vivono e prosperano in Europa per un centinaio di migliaia di anni finchè, dopo l'ultima glaciazione, spariscono; non se ne trova più alcuna traccia.

In modo che, quando durante l'ultima glaciazione, traboccò in Europa l'ondata migratoria delle popolazioni orientali (i lontani discendenti, per intenderci, degli uomini analoghi all'uomo

MAMMUT

INCISIONE NELLA ROCCIA DI UNA CAVERNA

di Pechino), popolazioni che fisicamente e culturalmente erano completamente diverse, esse si sovrapposero a quelle popolazioni néanderthalensi che erano in via di estinzione, se non già completamente estinte.

Così ha inizio, in Europa la specie *Homo sapiens*, la quale, contrariamente agli uomini di Néanderthal, aveva fronte e mento. Agli inizi però essa non presenta tipi definiti, ma mostra un miscuglio di quei caratteri che si trovano oggi separati presso le varie razze viventi.

E questi uomini per migliaia di anni cacciano, pescano, scheggiano selci, lavorano ossa; e per la prima volta, nella storia della Terra, vediamo con essi comparire opere d'arte: prima semplici tracciati, dipinti e impressi con le dita, curvilinei, privi, in generale, di significato palese; e poi figure e scene complesse, rappresentanti uomini e animali, alcune delle quali sono di alto valore artistico.

Siamo ora a circa 15.000 anni fa: i ghiacci per un'ultima volta si ritirano, i mari raggiungono il livello attuale, gli animali e le piante vanno distribuendosi come oggi sono distribuiti;

RENNE CHE COMBATTONO

(PITTURA POLICROMA PREISTORICA)

alla caccia si sostituisce l'agricoltura e la pastorizia. È l'aurora dei tempi attuali.

Questa è la nostra storia: una storia piena di lacune e di incertezze, nella quale però leggiamo, con commossa meraviglia, il grandioso cammino della Vita verso la coscienza e la dignità umana.

Conclusione

Gli anni passano e su questo palcoscenico sempre affollato gli attori si susseguono senza tregua; ognuno esegue, bene o male, la sua breve parte e cede poi il suo posto ad altri. Non bisogna rammaricarsene: chè questa è la Vita.

E voglio aggiungere soltanto due parole. Non so se questa lunga scorribanda nello spazio e nel tempo, questo rivolgere lo sguardo curioso dalle più lontane nebulose all'interno dell'atomo, dalle prime alghe ai più moderni mammiferi, dalla cellula all'uomo, abbia fatto sorgere in voi la mia stessa meraviglia nel riconoscere la possibilità di descrivere i fenomeni più disparati in termini razionali, quantitativi, vorrei dire matematici. Sono proprio i rapporti fra i fenomeni osservati e colui che li osserva, l'uomo, che costituiscono uno dei più ardui e dibattuti problemi: « il problema della conoscenza ».

Ma a questo punto termino perchè oramai le mie quattro chiacchiere sono finite: finite sul serio. Addio, amici! Questa volta il sipario cala proprio definitivamente.

Indice delle tavole

Indice dei capitoli

LIBRO I
L' UNIVERSO

LIBRO II

LA TERRA

Pag.

LIBRO III

LA MATERIA

LIBRO IV

LA VITA